

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.311

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Володимир ПОПОВ
«__» грудня 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: «Оптимізація процесів розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання»

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи ОЕ-91мп

БОРОВЕЦЬ Марія

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., старший викладач ЯРМОЛЮК Олена

(підпис)

Консультант нормоконтроль ас. ПРОКОПЕНКО Ірина

(підпис)

Рецензент _____

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра електропостачання
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ПОПОВ

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

БОРОВЕЦЬ Марії Федорівни

1. Тема дисертації «Оптимізація процесів розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання»
науковий керівник дисертації к.т.н., старший викладач ЯРМОЛЮК Олена Сергіївна затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. № 3199-с
2. Строк подання студентом дисертації: 18 грудня 2020 року.
3. Об'єкт дослідження: процес розподілу електричної енергії в системах електропостачання.
4. Предмет дослідження: оптимізація процесів розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання з урахуванням групи чинників різного характеру.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - зробити аналіз поточного стану енергетичного сектора України;
 - виконати аналіз джерел акумулювання для систем електропостачання;
 - обґрунтувати доцільність встановлення енергетичних установок, які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії;
 - вирішити питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та акумулювання.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали з результатами дослідження, алгоритми розрахунків і таблиці з отриманими результатами.
7. Орієнтовний перелік публікацій:
 - «Роль концепції Smart Grid в енергетичному секторі України». Збірник матеріалів XII науково-технічної конференції ІЕЕ «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, 7-8 травня 2020 р.;

– «Оптимізація роботи комбінованої енергосистеми з використанням відновлюваних джерел енергії». III науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), м. Київ, 26-27 листопада 2020 р.

8. Консультанти розділів дисертації:

Нормоконтроль

ас. Ірина Дмитрівна ПРОКОПЕНКО

9. Дата видачі завдання 29 травня 2020 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів МД	Примітка
1	Огляд літературних джерел за обраною темою	30.05.20 – 25.06.20	
2	Аналіз поточного стану енергетичного сектору України та перспективи його розвитку	01.09.20 – 18.09.20	
4	Аналіз комбінованої системи електропостачання та її основні компоненти	18.09.20 – 08.10.20	
5	Оптимізація процесів розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання	08.10.20 – 27.10.20	
6	Розробка стартап проєкту	27.10.20 – 16.11.20	
7	Робота над статтею для конференції	16.11.20 – 24.11.20	
8	Оформлення дисертації	24.11.20 – 30.11.20	
9	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	30.11.20 – 11.12.20	
10	Передзахист дисертації	11.12.20 – 15.12.20	
11	Захист дисертації	17.12.20 – 22.12.20	

Студент

(підпис)

Марія БОРОВЕЦЬ

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Олена ЯРМОЛЮК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг дисертації. Магістерська дисертація викладена на 106 сторінках та складається зі вступу, 4 розділів та висновків, в тому числі в роботі представлено 52 рисунки, 9 таблиць, 57 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку електроенергетики все більшої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та підключення їх до загальних мереж електропостачання. Разом з цим виникають проблеми пов'язані з оптимізацією розподілу електроенергії, так як ВДЕ характеризуються перш за все нестабільністю вихідних параметрів. Зазначена стратегія розвитку енергетичної галузі відіграє позитивну роль у забезпеченні енергетичної незалежності нашої держави, підвищенні енергоефективності, покращення екології довкілля. У магістерській дисертації представлено варіант, який дає змогу максимально ефективно задіяти альтернативні джерела генерації та місцеві енергетичні ресурси. Головним завданням є пошук такого вирішення поставленої задачі, яке не створить проблем роботі сформованої інтегрованої системи.

Метою дисертаційної роботи є: опрацювання питань щодо оптимізації розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені такі задачі:

- виконано аналіз поточного стану енергетичного сектора та сформовано перелік факторів, які впливають на енергетичний стан України;
- виконати аналіз джерел акумулювання для систем електропостачання;
- розглянуто доцільність встановлення енергетичних установок, які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії;
- вирішено питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та акумулювання.

Об’єктом дослідження є процес розподілу електричної енергії в системах електропостачання.

Предметом дослідження є оптимізація процесів розподілу електричної енергії в системах з локальними джерелами енергії та акумулювання з урахуванням групи чинників різного характеру.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі було застосовано методи багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень – алгоритм розподілу ресурсів, який ґрунтується на методі нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним та підходу Беллмана-Заде.

Наукова та практична цінність роботи полягає у розробленні методики розподілу навантаження між генеруючими джерелами з акумулюванням та централізованою системою електропостачання на основі модифікованого алгоритму розподілу ресурсів. При розв’язанні цієї задачі було запропоновано механізм ефективного урахування її багатокритеріальності, неповноти початкової інформації, можливості гнучкого завдання та зміни пріоритетності цільових функцій й обмежень, наприклад, шляхом застосування лінгвістичних характеристик.

Апробація результатів дисертації. Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

– XII науково-технічній конференції ІЕЕ «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, 7–8 травня 2020р.

– III науково-технічній конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, 26–27 листопада 2020 р.

Публікації. За результатами досліджень було опубліковано:

– Боровець М.Ф. Роль концепції Smart Grid в енергетичному секторі України. Збірник матеріалів XII науково-технічної конференції ІЕЕ *Енергетика. Екологія. Людина*. Україна, Київ, 7–8 травня 2020 р. С. 26–30;

– Боровець М.Ф. Оптимізація роботи комбінованої енергосистеми з використанням відновлюваних джерел енергії. Збірник матеріалів III науково-

технічна конференція магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту. Україна, Київ, 26–27 листопада 2020 р..

Ключові слова: ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ, КОМБІНОВАНА ЕНЕРГОСИСТЕМА, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

The structure and scope of the dissertation. The master's dissertation is presented on 106 pages and consists of an introduction, 4 chapters and conclusions, including 52 works, 9 tables, 57 bibliographic sources in the list of references.

Relevance of the topic. At the present stage of development of the electric power industry the use of renewable energy sources (RES) and their connection to the general power supply networks is becoming more and more important. However, there are problems associated with the optimization of electricity distribution, as RES are characterized primarily by instability of the output parameters. This strategy for the development of the energy sector plays a positive role in ensuring the energy independence of our country, improving energy efficiency, improving the environment. The master's dissertation presents an option that allows the most effective use of alternative generation sources and local energy resources. The main task is to find a solution to the problem, which will not create problems with the existing integrated system.

The purpose of the work is to study issues related to the optimization of energy distribution in systems with local sources of generation and accumulation.

To achieve this goal, the following tasks were set and solved:

- the analysis of the current state of the energy sector is performed and the list of factors influencing the energy state of Ukraine is formed;
- perform analysis of storage sources for power supply systems
- the expediency of installation of power plants operating with renewable energy sources is considered;
- the issue of optimal load distribution between separate generation sources and accumulation.

The object of the study is the process of electricity distribution in power supply systems.

The subject of the study is the optimization of electrical energy distribution processes in systems with local energy sources and storage, taking into account a group of factors of different nature.

Research methods. To solve the set tasks in the dissertation work methods of multicriteria optimization and decision making – the algorithm of resource allocation which is based on a method of nonlocal search.

The scientific and practical value of the work is to develop a method of load distribution between generating sources and a centralized power supply system based on a modified resource allocation algorithm. In solving this problem, it was suggested the mechanism of effective consideration of its multicriteria, incomplete uncertainty of the initial information, the possibility of a flexible task and changing the priority of target functions and constraints, for example, by application of linguistic characteristics.

Approbation of the results of the dissertation. The results of the master's dissertation were published:

- XII scientific and technical conference IEE "Energy. Ecology. Man", Kyiv, May 7-8, 2020;
- III scientific and technical conference IEE, Kyiv, November 26-27, 2020.

Publications. According to research results were published:

- Borovets M.F. The role of the Smart Grid concept in the energy sector of Ukraine. Collection of materials of the XII scientific and technical conference IEE *Energy. Ecology. Man*, Ukraine, Kyiv, May 7–8, 2020. Pp. 26–30;
- "Optimization of the combined power system using renewable energy sources." III scientific and technical conference of IEE undergraduates (based on the results of dissertation research of undergraduates), Ukraine, Kyiv, November 26–27, 2020.

Key words: OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION PROCESSES, RENEWABLE ENERGY SOURCES, DISTRIBUTED GENERATION, COMBINED POWER SYSTEM, MULTICRITERIA OPTIMIZATION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО РОЗВИТКУ	14
1.1 Історія еволюції енергетики	14
1.2 Аналіз стану паливного-енергетичного комплексу України.....	15
1.3 Установки які працюють на традиційних джерелах енергії.....	18
1.3.1 Газотурбінна установка	18
1.3.2 Парогазова установка	19
1.3.3 Дизельна електростанція.....	20
1.4 Аналіз факторів як впливають на енергетичний стан держави.....	22
1.5 Шляхи економії паливно-енергетичних ресурсів	24
1.6 Детальна характеристика відновлюваних джерел енергії та перспективи їх використання в Україні.....	26
1.6.1 Енергія сонця.....	26
1.6.2 Енергія вітру.....	31
1.6.3 Енергія біомаси	35
1.6.4 Енергія водних ресурсів	37
1.7 Локальні джерела генерування в системах розподіленого та централізованого енергоспоживання	40
Висновки до першого розділу	43
2 КОМБІНОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЇЇ ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ	47
2.1 Характеристика комбінованої системи електропостачання	47
2.2 Акумуляування енергії різними типами накопичувачів.....	48
2.2.1 Електрохімічні накопичувачі	48
2.2.2 Стиснене повітря	52
2.2.3 Супермаховик	53
2.2.4 Гідроенергія.....	55
2.3 Призначення контролера	56

2.4 Використання інверторів	59
2.4.1 Ведені мережею інвертори	59
2.4.2 Автономні інвертори	60
2.4.3 Інвертори струму та напруги	62
Висновки до другого розділу	63
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ З ЛОКАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ГЕНЕРУВАННЯ ТА АКУМУЛЮВАННЯ.....	64
3.1 Формування цільових функцій й обмежень задачі, методика її розв'язання	64
3.2 Урахування багатокритеріальності при вирішенні задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації	75
3.3 Реалізація процедури багатокритеріального розподілу навантаження між джерелами генерування енергії	79
3.4 Практичне вирішення оптимізаційної задачі	84
Висновки до третього розділу	87
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	89
4.1 Поняття стартапу	89
4.2 Опис ідеї проєкту	89
4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту	96
4.4 Аналіз можливостей запуску стартап-проєкту.....	97
Висновки до четвертого розділу	98
ВИСНОВКИ	99
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЕС – атомна електростанція;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ВЕС – вітроенергетична установка;
ВЕУ – вітроенергетична установка;
ГАЕС – гідроакумулювальна електростанція;
ГЕС – гідроелектростанція;
ГТУ – газотурбінна установка;
ДЕС – дизельна електростанція;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ОЕС – об'єднана енергосистема;
ОПР – особа, що приймає рішення;
ПАЕС – пневмоакумулююча електростанція;
ПГУ – парогазова установка;
ПЕК – паливно-енергетичний комплекс;
ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;
РАВ – радіоактивні відходи;
РГ – розосереджена генерація;
СЕП – система електропостачання;
СЕС – сонячна електростанція;
ТЕС – теплова електростанція;
ТЕЦ – теплоелектроцентраль;
ТМП – точка максимальної потужності;
ФЕС – фотоелектрична станція;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку електроенергетики все більшої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та підключення їх до загальних мереж електропостачання. Разом з цим виникають проблеми пов'язані з оптимізацією розподілу електроенергії, так як ВДЕ характеризуються перш за все нестабільністю вихідних параметрів. Зазначена стратегія розвитку енергетичної галузі відіграє позитивну роль у забезпеченні енергетичної незалежності нашої держави, підвищенні енергоефективності, покращення екології довкілля. У магістерській дисертації представлено варіант, який дає змогу максимально ефективно задіяти альтернативні джерела генерації та місцеві енергетичні ресурси. Головним завданням є пошук такого вирішення поставленої задачі, яке не створить проблем роботі сформованої інтегрованої системи.

Метою дисертаційної роботи є: опрацювання питань щодо оптимізації розподілу енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені такі задачі:

- виконано аналіз поточного стану енергетичного сектору та сформовано перелік факторів, які впливають на енергетичний стан України;
- виконано аналіз джерел акумулювання для систем електропостачання;
- розглянуто доцільність встановлення енергетичних установок які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії;
- вирішено питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та акумулювання.

Об'єктом дослідження є процес розподілу електричної енергії в системах електропостачання.

Предметом дослідження є оптимізація процесів розподілу електричної енергії в системах з локальними джерелами енергії та акумулювання з урахуванням групи чинників різного характеру.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі було застосовано методи багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень – алгоритм розподілу ресурсів, який ґрунтується на методі нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним та підходу Беллмана-Заде.

Наукова та практична цінність роботи полягає у розробленні методики розподілу навантаження між генеруючими джерелами з акумулюванням та централізованою системою електропостачання на основі модифікованого алгоритму розподілу ресурсів. При розв’язанні цієї задачі було запропоновано механізм ефективного урахування її багатокритеріальності, неповноти початкової інформації, можливості гнучкого завдання та зміни пріоритетності цільових функцій й обмежень, наприклад, шляхом застосування лінгвістичних характеристик.

1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО РОЗВИТКУ

1.1 Історія еволюції енергетики

Енергетичні проблеми завжди були в центрі уваги, так як енергія – найважливіший чинник, який характеризує розвиток цивілізації. Ще сотні мільйонів років тому людина різними способами намагалась здобути енергію, використовуючи природні ресурси та мускульну силу тварин. Загалом можна виділити наступні етапи у розвитку енергетики.

Першим етапом можна назвати той період коли людина «заволоділа» вогнем. Найвизначнішим досягненням періоду вважається винайдення першого водяного млина з колесом, який працював завдяки тиску падаючої води на лопаті. Спочатку даний механізм використовували для піднімання води у зрошувальні канали, а пізніше для просіювання зерна та помелу борошна.

На другому етапі людство почало активніше використовувати енергію потоку вітру та енергію води. Наприклад, для пересування по річці на вітрильному судні, використовували силу вітру. Будівництво водяних млинів поступово розширювалось, також почали будувати й вітрові млини, проте через нестабільну швидкість вітру, вони мали нестабільний режим роботи. Завдяки цим винаходам почали створювати ткацькі верстати, папероробні машини, лісопильні установки тощо.

На заміну млинам прийшов паровий двигун, це можна назвати початком третього етапу в розвитку енергетичної галузі. Використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), зокрема нафти, природного газу, кам'яного вугілля дало змогу отримувати теплову енергію завдяки хімічній енергії горіння палива. Найбільшою перевагою було те, що парові двигуни могли розміщуватись будь-де, а не лише біля річок. Основними недоліками були значення коефіцієнта корисної дії (ККД), великі габарити та вага. Третій етап можна охарактеризувати, як перехід від найпростіших водяних коліс до гідравлічних турбін. Це був

початок створення перших гідроелектростанцій (ГЕС), для перетворення кінетичної енергії води в електричну енергію, завдяки гідротурбінам. Потім були перші спроби розробки вітродвигунів, які використовували енергію вітру для перетворення її в електричну енергію.

У XIX-XX столітті активно почали використовувати нафту, природний газ та інші ПЕР як джерело палива вже для дизельних двигунів. Велика частка електроенергії вироблялась на атомних (АЕС) та теплових (ТЕС) електростанціях. Масове використання вищенаведених ресурсів призвело до швидкого зростання виробництва електроенергії. В період 1950–2000 рр. частка виробленої електроенергії збільшилась у 14 разів. Людина стала настільки «могутньою», що її діяльність почала негативно впливати на довкілля: забруднювати атмосферу, гідросферу, ґрунт тощо [2, 53].

На четвертому етапі було створено парові та гідравлічні турбіни, розроблено генератори змінного струму, побудовано перші промислові електростанції, здійснено передачу електроенергії на значні відстані [3].

На сьогодні, в Україні домінує використання таких джерел енергії як: нафта, природний газ, вугілля, уран. У паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) нашої держави 55 % виробництва електроенергії припадає саме на АЕС, у той час як країни Європи, зокрема Німеччина та Швейцарія, прийняли рішення про зупинку реалізації нових проєктів будівництва атомних енергоблоків [4].

1.2 Аналіз стану паливного-енергетичного комплексу України

ПЕК України включає в себе підприємства з видобутку та переробки палива, виробництва та передавання електроенергії та базується на використанні традиційних джерел енергії. Основним недоліком ПЕР є те, що вони невідновлювані, а їх запаси з кожним роком зменшуються.

Згідно зі статистичними даними Міністерства Енергетики України [5], щодо запасів вугілля та мазуту на ТЕС та теплоелектроцентралях (ТЕЦ), то станом на 1 вересня 2020 року накопичено:

- 3 035,7 тис. тонн вугілля, що на 2 210,2 тис. тонн (на 267,8%) більше, ніж на аналогічну дату минулого року (825,4 тис. тонн) (рис. 1.1);



Рисунок 1.1 – Обсяг запасів вугілля на ТЕС та ТЕЦ [5]

- 46,8 тис. тонн мазуту, що на 14,3 тис. тонн (на 44,0%) більше, ніж на аналогічну дату минулого року (32,5 тис. тонн) (рис. 1.2).



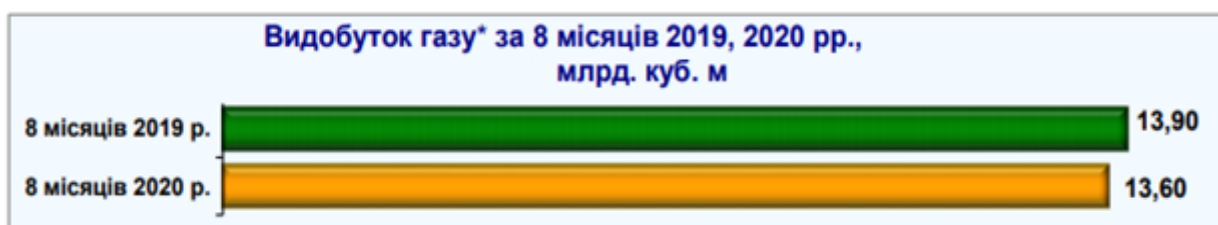
Рисунок 1.2 – Обсяг запасів мазуту на ТЕС та ТЕЦ [5]

Видобуток вугілля за 8 місяців 2020 року вугледобувними підприємствами України становить 18 526,8 тис. тонн вугілля, що на 1 766,5 тис. тонн (або на 8,7 %) менше порівняно з відповідним періодом минулого року. У тому числі видобуток енергетичного вугілля зменшився на 2 134,8 тис. тонн (або на 13,1 %), коксівного вугілля – збільшився на 368,2 тис. тонн (або на 9,3 %) (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Обсяг видобутку вугілля підприємствами, які підпорядковані Міненерго [5]

Видобуток природного газу за 8 місяців 2020 року в Україні зменшився на 298,5 млн. куб. м (або на 2,1 %) порівняно з показником минулого року та становить 13 601,5 млн. куб. м (рис. 1.4).



* за оперативними даними щодобової звітності ТОВ «Оператор ГТС України»

Рисунок 1.4 – Обсяг видобутку газу за 8 місяців 2019, 2020 рр. [5]

Станом на 01.09.2020 в українських газосховищах міститься 25,5 млрд. куб. м природного газу, що на 7,2 млрд. куб. м, або на 39,3 % більше порівняно з показником минулого року (рис. 1.5).



* за оперативними даними щодобової звітності ТОВ «Оператор ГТС України»

Рисунок 1.5 – Обсяг запасів природного газу в газосховищах [5]

1.3 Установки які працюють на традиційних джерелах енергії

1.3.1 Газотурбінна установка

Газотурбінна установка (ГТУ) це універсальний модульний пристрій, який об'єднує: електрогенератор, редуктор, газову турбіну та блок управління. Також є додаткове обладнання: компресор, пристрій запуску, апарат теплового обміну. ГТУ являють собою двигун внутрішнього згоряння та можуть працювати на різних видах палива, наземні установки зазвичай використовують природний газ. ГТУ електростанції мають багато переваг: економічність, низька вартість, швидкий термін окупності, короткий термін виготовлення, високе значення ККД використання палива, можливість працювати на різних видах палива (керосин, дизельне паливо, природний газ). ГТУ використовуються для авіації, для електростанцій, для використання в якості мікротурбін.

Конструктив ГТУ представлено на рис. 1.6, на загальному валу знаходиться турбіна (Т), компресор (К), паливний насос (ПН) та споживач енергії (С). Принцип роботи такої установки полягає в наступному: компресор (К) засмоктує повітря з навколишнього середовища, стискає його до потрібного значення тиску та направляє в камеру згоряння (КЗ). До камери згоряння через паливний насос (ПН) подається паливо, яке знаходиться у баку. Якщо в якості палива використовується природні газ, то його подача відбувається завдяки газовому компресору. Згоряння палива в камері відбувається при постійному тиску. Продукти згоряння, які розширюються в соплах газової турбіни, потрапляють на лопаті турбіни та приводять їх в рух, завдяки кінетичній енергії. Після цього відпрацьовані гази виходять в назовні через впускний патрубок.

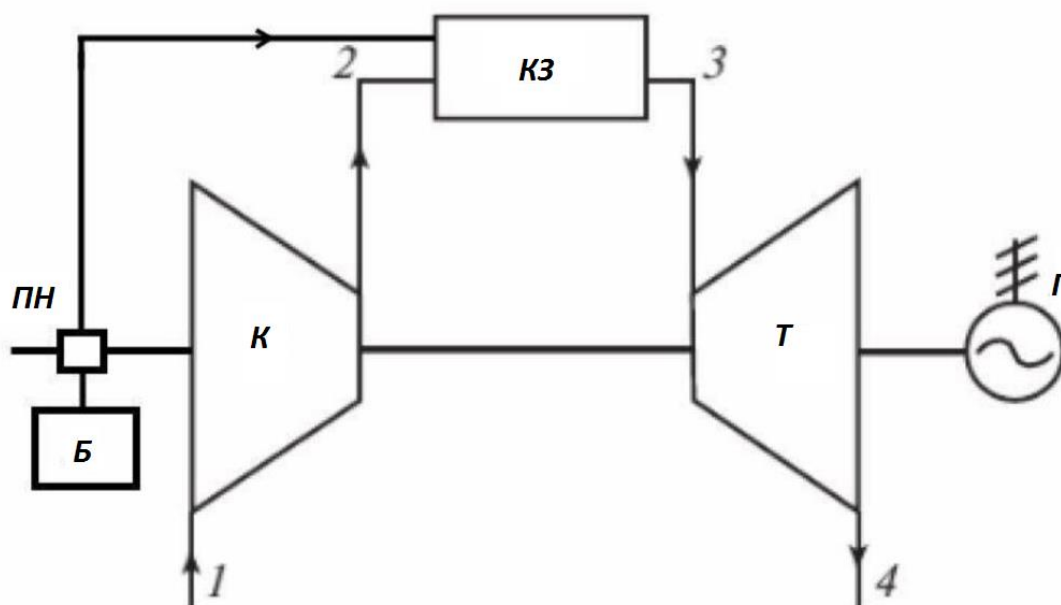


Рисунок 1.6 – Конструктив газотурбінної установки

Частина потужності, вироблена газовою турбіною, витрачається на обертання компресора, а інша частина (корисна потужність) віддається споживачу. Потужність, яку використовує компресор, значно більша та може в $2 \div 3$ рази перевищує корисну потужність ГТУ, що і є основним недоліком такої установки.

1.3.2 Парогазова установка

Парогазова установка (ПГУ) складається з двох окремих установок: паросилової та газотурбінної. В газотурбінній установці турбіну приводять в рух газ, створений шляхом згоряння палива. Конструктив ПГУ зображено на рис. 1.7. На одному валу з турбіною знаходиться генератор, який за рахунок обертання ротора виробляє електричну енергію. Проходячи через газову турбіну та віддаючи їй частину своєї енергії, продукти згоряння (димові гази) на виході мають температуру близько 500°C . Виходячи з газової турбіни вони надходять до паросилової установки в котел-утилізатор, де вода нагрівається та перетворюється в пару. За рахунок цього, парова турбіна приводить в дію електрогенератор.

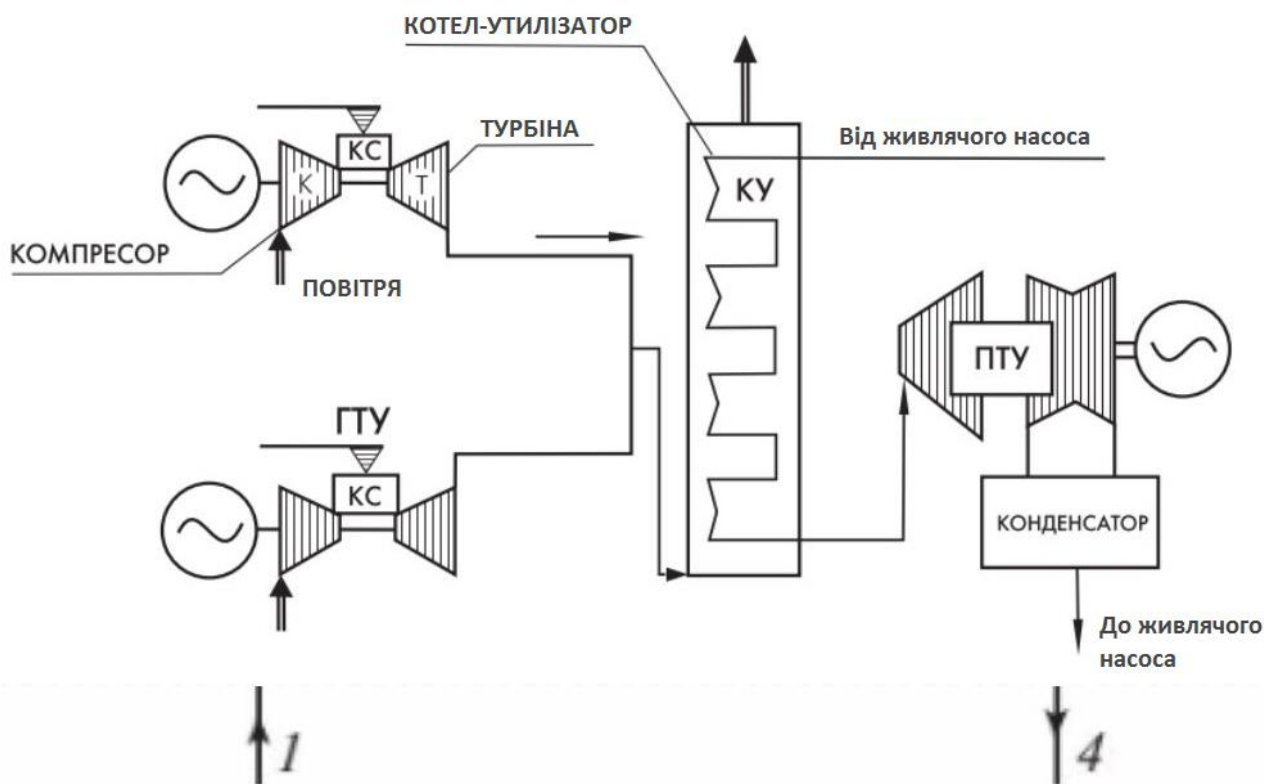


Рисунок 1.7 – Конструктив парогазової установки

1.3.3 Дизельна електростанція

Дизельною електростанцією (ДЕС) називають це стаціонарну (або переносну) енергетичну установку, яка має один, або декілька, електричних генераторів з приводом від дизельного двигуна внутрішнього згоряння. Звичайний дизельгенератор складається з декількох основних блоків, які розташовані всередині каркасу, який у свою чергу захищається шумопоглинаючим кожухом: паливний бак, дизельний двигун, ручний стартер, електронний блок автоматичного керування та стабілізатор напруги, альтернатор (генератор змінного струму), акумулятор із зарядним пристроєм (рис.1.8).



Рисунок 1.8 – Конструктив дизельного генератора

Принцип виробництва електроенергії в генераторі даного типу полягає на використанні дизельного двигуна та генератора змінного струму. Енергія згоряння палива спочатку перетворюється в енергію газу який розширюється та за рахунок цього тисне на поршні, а ті в свою чергу обертають колінвал, який приводить в рух ротор генератора.

Зазвичай ДЕС використовують у якості резервних джерел живлення. Одним з найголовніших складових ДЕС є генератор – електрична машина, яка перетворює механічну енергію дизельного двигуна в електричну. Конструктивно ДЕС являє собою сталеву раму, на якій встановлено двигун внутрішнього згоряння та генератор змінного струму, а також систему контролю і керування установкою.

Переваги використання дизельгенератора:

- високе значення ККД;
- швидкість будівництва;
- компактність;

Недоліки використання дизельгенератора:

- висока вартість експлуатації, за рахунок використання викопного палива;

- не надійна робота при низьких температурах навколишнього середовища;
- час роботи обмежений запасом палива, тому виникає необхідність в постійній підзаправці;
- здатність працювати лише на невідновлюваних джерелах енергії;
- завдає шкоду екології за рахунок спалювання палива;
- шумове забруднення.

1.4 Аналіз факторів як впливають на енергетичний стан держави

Енергетичний стан нашої держави на пряму залежить від наступних показників: економічного, екологічного та соціального. Перед суспільством постала глобальна проблема – знайти баланс між цими трьома складовими.

Під економічним показником, розуміють рівень забезпечення населення паливом та енергією. Україна є імпортером та транзитером природних ПЕР та водночас є і експортером вироблених енергоресурсів. Надійне та безперебійне енергопостачання за конкурентоспроможними цінами має важливе значення для успішного розвитку сучасної економіки. Основними економічними задачами у сфері енергетики є оптимізація розміщення генеруючих потужностей, економічна ефективність нової техніки, аналіз показників, пов'язаних із собівартістю, ціною, рентабельністю. Варто зауважити те, що політико-економічна складова також тісно пов'язана з енергетикою. Політико-економічна складова – це відносний ступінь незалежності держави, що пов'язаний із діяльністю ПЕК. Головними чинниками, які впливають на узагальнений показник енергетичної незалежності є: частка імпорту енергоносіїв, монопольний імпорт, ступінь диверсифікації за джерелами та типами ПЕР, які постачаються і споживаються в країні, та наявність транзитних потоків тощо [55].

Питання екології є болючим не лише, для України, але і для всього світу в цілому. Стратегією сталого розвитку України до 2030 року передбачено

зростання частки екологічно чистої енергії, витісняючи традиційні карбонові технології [6].

Вироблення електричної та теплової енергії на АЕС та ТЕЦ спричиняють низку глобальних проблем [53]:

- викиди в атмосферу таких шкідливих речовин, як оксиди сірки й азоту, монооксиди вуглецю, тверді частинки золи, концентровані органічні речовини, зокрема бенз(а)пірен та ін.;
- викиди величезних кількостей діоксиду вуглецю, який є основним чинником виникнення «парникового ефекту»;
- теплове забруднення довкілля;
- скидання мінералізованих і нагрітих вод;
- споживання у великих об'ємах кисню і води.

Окрім перерахованих недоліків, ще постає проблема в утилізації радіоактивних відходів (РАВ). Згідно зі Стратегією поводження з радіоактивними відходами, РАВ які утворилися під час використання атомної енергії, мають бути перевезені у зону відчуження на комплекс виробництв «Вектор» для їх подальшого довготривалого зберігання або захоронення [7]. Також функціонує Державна корпорація «Українське державне об'єднання «Радон» (ДК «УкрДО «Радон»), до складу якої входять спецкомбінати, проєктна організація Державне підприємство «Науково-технічний центр дезактивації та комплексного поводження з радіоактивними відходами, речовинами, джерелами іонізуючого випромінювання» (ДП "НТЦ КПРВ"), навчальний заклад з підготовки персоналу у сфері поводження з РАВ та Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами» (ДСП "ЦППРВ"), яке є єдиним підприємством в Україні, що має право захоронювати РАВ [8]. Проте сховища цих спецкомбінатів не відповідають сучасним вимогам забезпечення безпеки, виявлено витік радіонуклідів із кількох сховищ.

Соціальна складова – характеризує соціальну напругу в країні, яка пов’язана з енергозабезпеченням населення (цінові показники на ПЕР) та енергетичною безпекою країни. Техногенні катастрофи, глобальне потепління, знищення флори та фауни – це все є наслідком шкідливих впливів людини та технологій на довкілля. Радіаційні аварії на Чорнобильській АЕС (1986 р.) та на АЕС «Фукусіма-1» (2011 р.), які були найбільшими за історію людства, ще раз нагадують суспільству про те, необхідно шукати альтернативу традиційним джерелам енергії.

1.5 Шляхи економії паливно-енергетичних ресурсів

Детальний аналіз ключових факторів енергетичного сектору підводить нас до того, що необхідно шукати альтернативу традиційним джерелам енергії. Україна має один з найвищих показників споживання енергії на душу населення. Вона посідає 15 місце серед країн, які є найбільшими споживачами ПЕР. Впродовж останніх років вчені працюють над пошуком нових способів отримання електричної енергії задля скорочення використання вичерпних джерел енергії. Використання ПЕР призводить до так званого «теплового забруднення» довкілля та створення парникового ефекту. Запаси ядерного палива також обмежені, а процес видобутку та переробки стає ще більш енергоємним, і відповідно дорожчим.

Всі ці вищенаведені фактори спровокували створення енергетичної кризи для подолання якої необхідно впровадити енергоефективні та енергозберігаючі заходи. Згідно з законом «Про енергозбереження [9] енергозберігаючі (енергоефективні) заходи – це заходи, які спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективної продукції, технологій та обладнання. Саме поняття «енергозбереження», це дієвий шлях до значної економії ПЕР, що являє собою діяльність (організаційну, наукову, практичну, інформаційну), спрямовану на раціональне використання та економне витрачання первинної й перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів у національному господарстві [9].

Відповідно до Закону [9] основними принципами державної політики у сфері енергозбереження є:

- створення державою економічних і правових умов зацікавленості в енергозбереженні юридичних та фізичних осіб;
- здійснення державного регулювання діяльності у сфері енергозбереження на основі застосування економічних, нормативно-технічних заходів управління;
- пріоритетність вимог енергозбереження при здійсненні господарської, управлінської або іншої діяльності, пов'язаної з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробленням і використанням ПЕР;
- обов'язковість енергетичної експертизи;
- вирішення проблем енергозбереження у поєднанні з реалізацією енергетичної програми України, а також на основі широкого міждержавного співробітництва тощо.

Теми енергозбереження та енергоефективності завжди були актуальними не лише для України, а і для інших країн світу. Протягом останніх років спостерігається децентралізація систем електропостачання. Даний процес полягає у використанні традиційних джерел енергії ВДЕ.

У Статуті Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) зазначено, що термін «відновлювана енергія» передбачає всі форми енергії, що постійно виробляються усіма відновлюваними джерелами та включає: біоенергію, геотермальну енергію, гідроенергію, енергію океану, у тому числі енергію приливів та відливів, хвильову та теплову енергію океану, сонячну енергію, енергію вітру [10].

Законодавство України також використовує термін «альтернативні джерела енергії». Так, альтернативні джерела енергії – це ВДЕ до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних

родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [11]. Існують і інші трактування відновлюваних джерел енергії, але основною характеристикою є здатність до відновлювання свого потенціалу за короткий проміжок часу (приблизно життю одного покоління людей).

1.6 Детальна характеристика відновлюваних джерел енергії та перспективи їх використання в Україні

Використання ВДЕ є важливим стратегічним напрямом розвитку енергетики в Україні який направлений на заощадження традиційних ПЕР та покращення екологічного стану країни. Основною альтернативою для виробітку електричної енергії є використання енергії сонця, вітру, біомаси та енергії водних ресурсів.

До основних переваг використання альтернативних джерел енергії можна віднести:

- екологічність (не завдають шкоди навколишньому середовищу);
- невичерпність ресурсів (мають необмежений запас);
- автономність (не потребують постійного обслуговування).

1.6.1 Енергія сонця

В Україні найбільшим попитом серед ВДЕ користується саме енергія сонця. Сумарне річне надходження сонячної радіації на територію нашої держави становить $720 \cdot 10^{12}$ кВт·год [12]. Інтенсивність сонячного випромінювання, яке досягає землі, змінюється в залежності від часу доби, місяця, року, розташування та погодних умов. На рис. 1.9 зображено річні надходження сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню в різних кліматичних зонах України.



Рисунок 1.9 – Річні надходження сумарної сонячної радіації [12]

Аналізуючи рис. 1.9 можна зробити висновок, що потенціал сонячної енергії на території України є досить високим для встановлення сонячних електростанцій (СЕС).

Існує два шляхи для перетворення сонячного випромінювання в електроенергію: термодинамічний та фотоелектричний. Перший базується на використанні геліоустановок. Під теплогенеруючою (або термодинамічною) геліоустановкою розуміють обладнання, яке перетворює енергію сонця спочатку в теплоту, потім в механічну і електричну енергію. На рис. 1.10 схематично зображено процес отримання електроенергії завдяки теплоелектростанції [3].

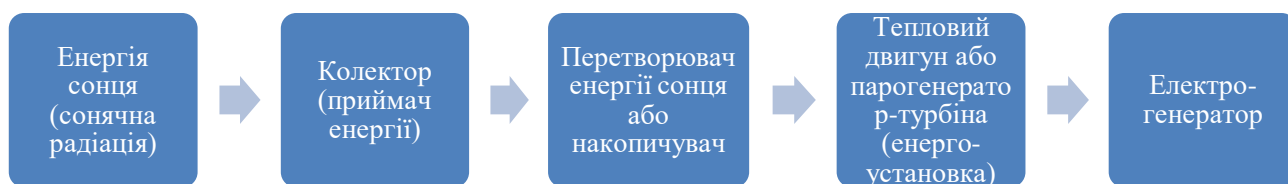


Рисунок 1.10 – Блок-схема сонячної теплостанції

Головним елементом у даній системі є геліоколектор. Він поглинає сонячне випромінювання і завдяки цьому нагріває рідинний теплоносій, наприклад, воду яка прокачується через ряд теплообмінників, що призводить до вироблення пару, який приводить в дію тепловий двигун або парогенератор для вироблення електричної енергії. Основною характеристикою колектора є ККД, величина якого становить 65...80 %. В залежності від конструкції їх поділяють на плоскі та на вакуумні (рис. 1.11).

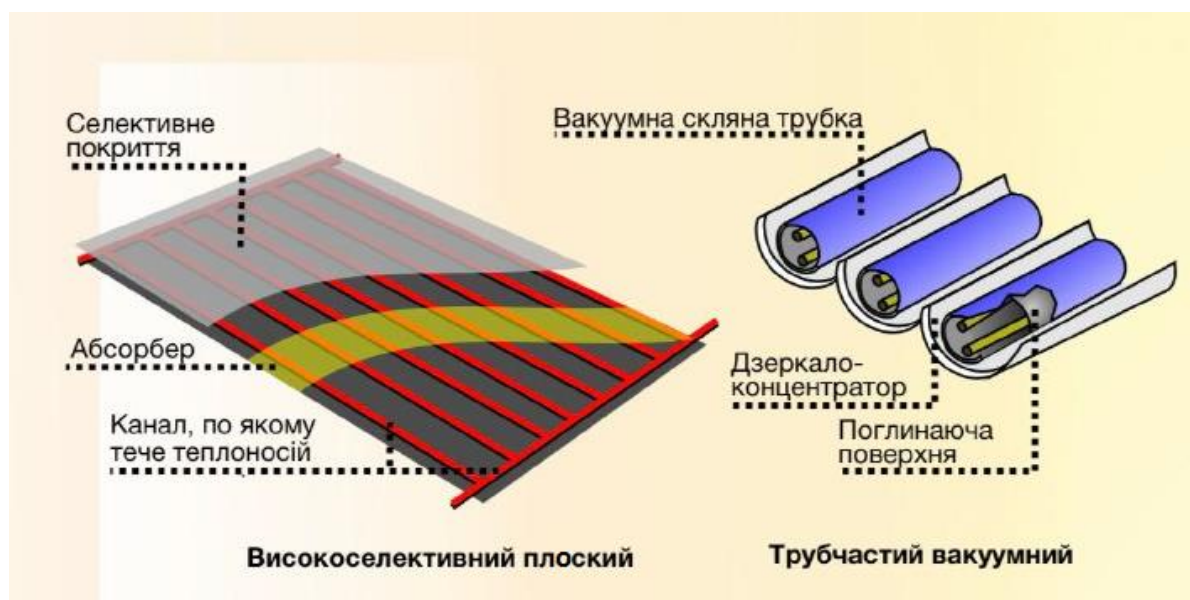


Рисунок 1.11 – Конструктивні характеристики колекторів

Типове виробництво теплової енергії сонячними колекторами впродовж року (для м. Києва) показано на рис. 1.12.

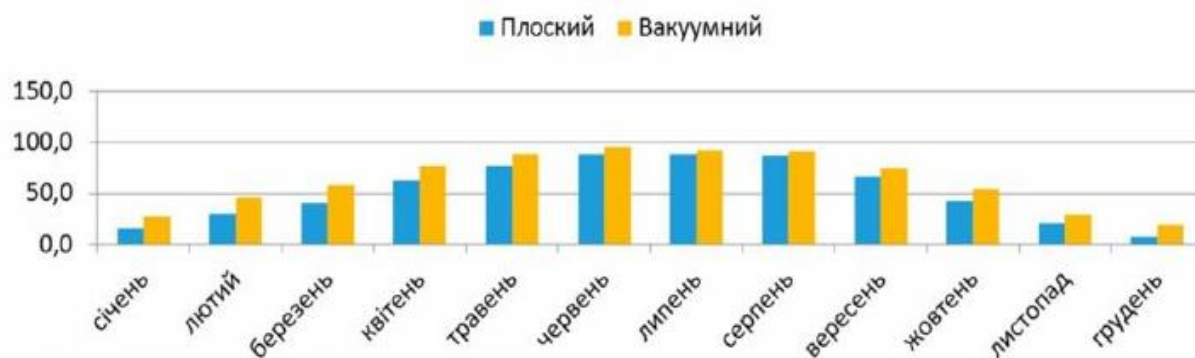


Рисунок 1.12 – виробництво теплової енергії сонячними колекторами впродовж року, кВт·год

Щодо фотоелектричних установок, то вони слугують для прямого перетворення сонячної радіації в електроенергію завдяки фотоелектричному перетворювачу. На рис. 1.13 схематично зображено процес отримання електроенергії завдяки фотоелектричній станції (ФЕС). [3].

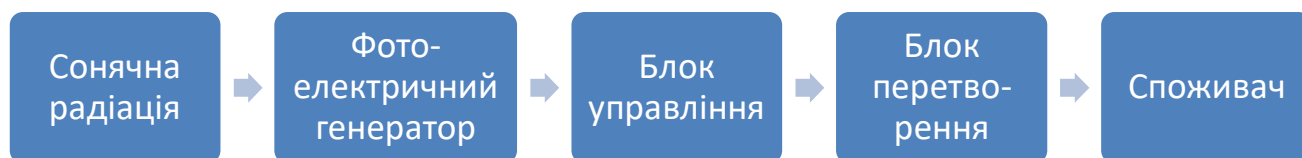


Рисунок 1.13 – Блок-схема сонячної ФЕС

Принцип дії фотоелектричного перетворювача базується на використанні внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках і ефекту ділення фотогенерованих носіїв зарядів (електронів і дірок) електронно-дірочним переходом або потенційним бар'єром типу метал–діелектрик–напівпровідник [3]. Здебільшого для виробництва фотоелементів використовують кремній з додаванням домішок. ККД сонячних батарей становить 12...15 %. Будову фотоелементу зображено на рис. 1.14.

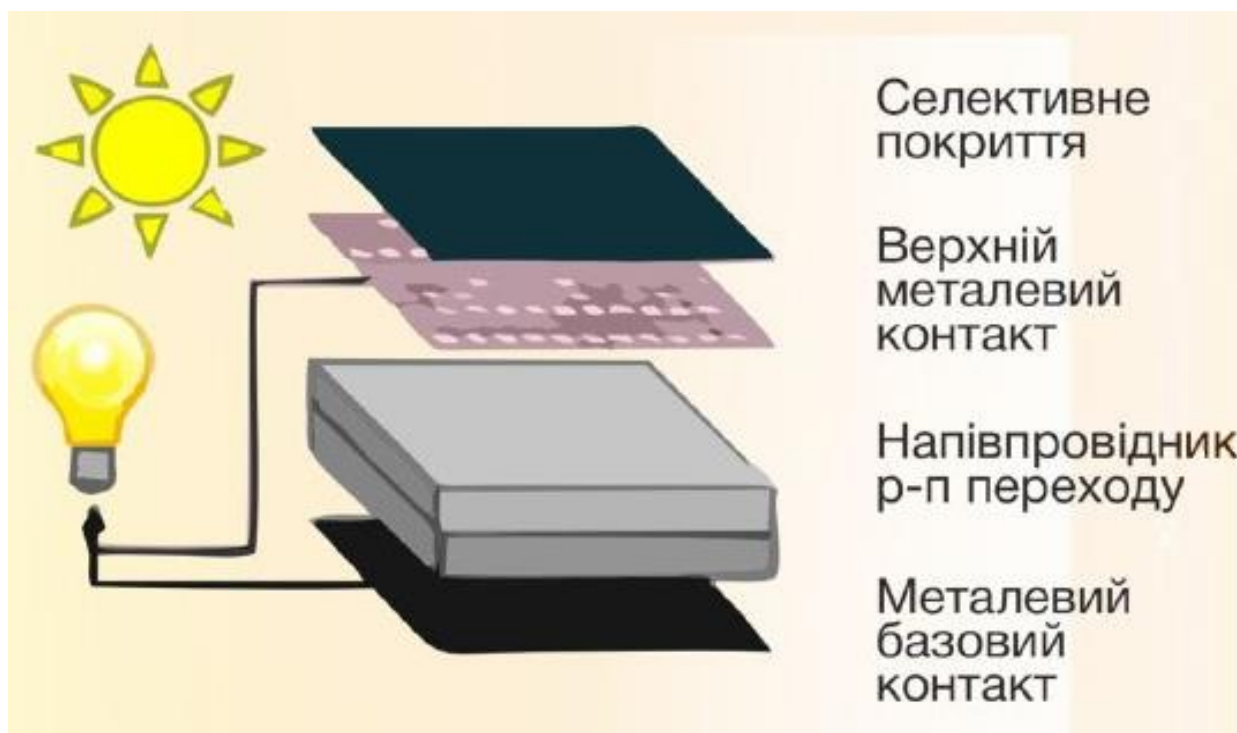
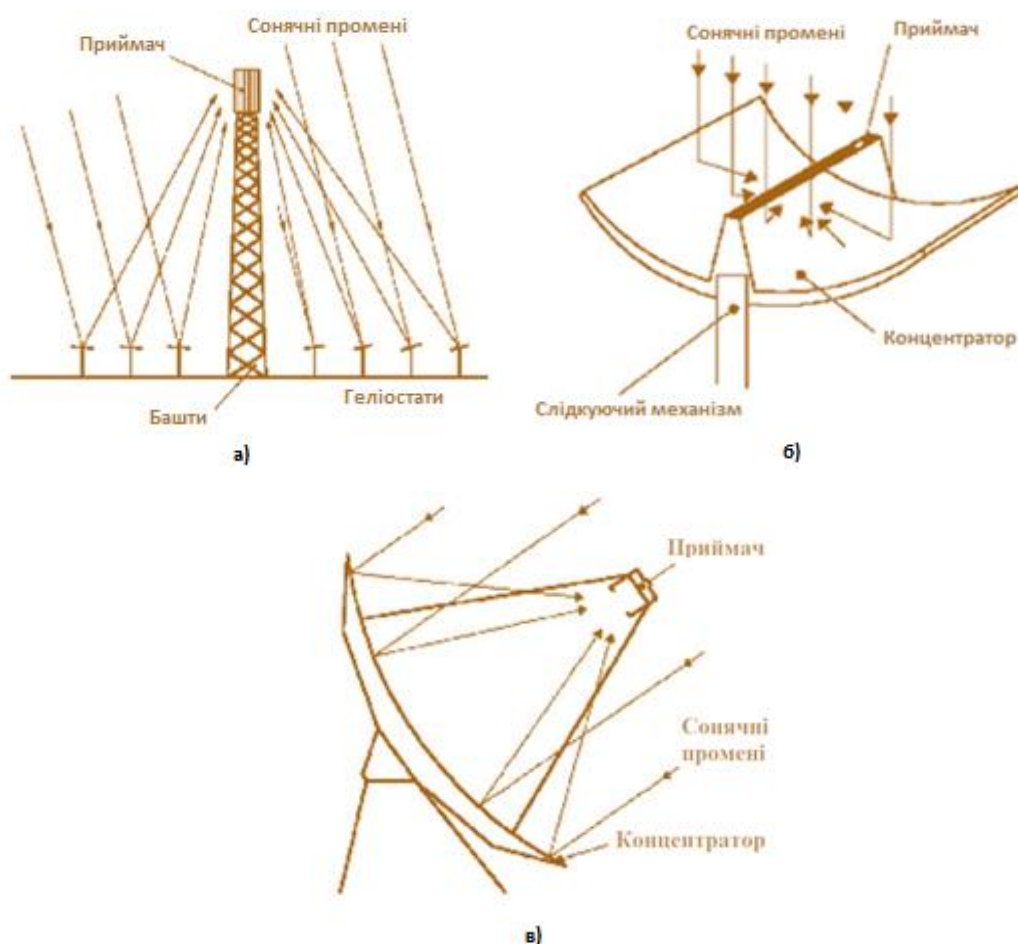


Рисунок 1.14 – Будова фотопанелі [3]

СЕС поділяють на три типи [3]:

- баштового типу з центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів (рис. 1.15, а);
- параболічного (лоткового) типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм (рис. 1.15, б);
- тарілкового типу, коли в фокусі параболічного тарілкового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії з робочою рідиною (рис. 1.15, в).



- а – баштового типу;
 б – параболічного типу;
 в – тарілкового типу.

Рисунок 1.15 – Різновиди сонячних електростанцій [3]

Найбільш вживаними є сонячні панелі на основі монокристалічного, полікристалічного та аморфного (тонкоплівкові) кремнію. Основними недоліками є висока вартість та значні площі для встановлення перетворювачів.

1.6.2 Енергія вітру

Перетворення енергії вітру здійснюється завдяки використанню вітроенергетичних установок (ВЕУ), які перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну енергію, і після в електричну. Головним елементом установки є вітроколесо. За конструктивом виконання вітроколеса ВЕУ поділяють [13]:

- 1) крильчасті (пропелерні);
- 2) карусельні або роторні;
- 3) барабанні.

Основними конструктивними складовими ВЕУ є [54]:

- 1) ротор – система обертових аеродинамічних елементів (лопате́й), що приєднані до єдиного валу, і призначена для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію обертового валу. Ротор може бути навітровим (в робочому стані розташовується відносно напрямку повітряного потоку перед опорою) і підвітровим (в робочому стані розташовується відносно напрямку повітряного потоку за опорою);

- 2) гондола – частина вітроустановки, що розташовується на вершині опори і служить для розміщення вузлів кріплення валу ротора, мультиплікатора, трансмісії та (або) інших елементів;

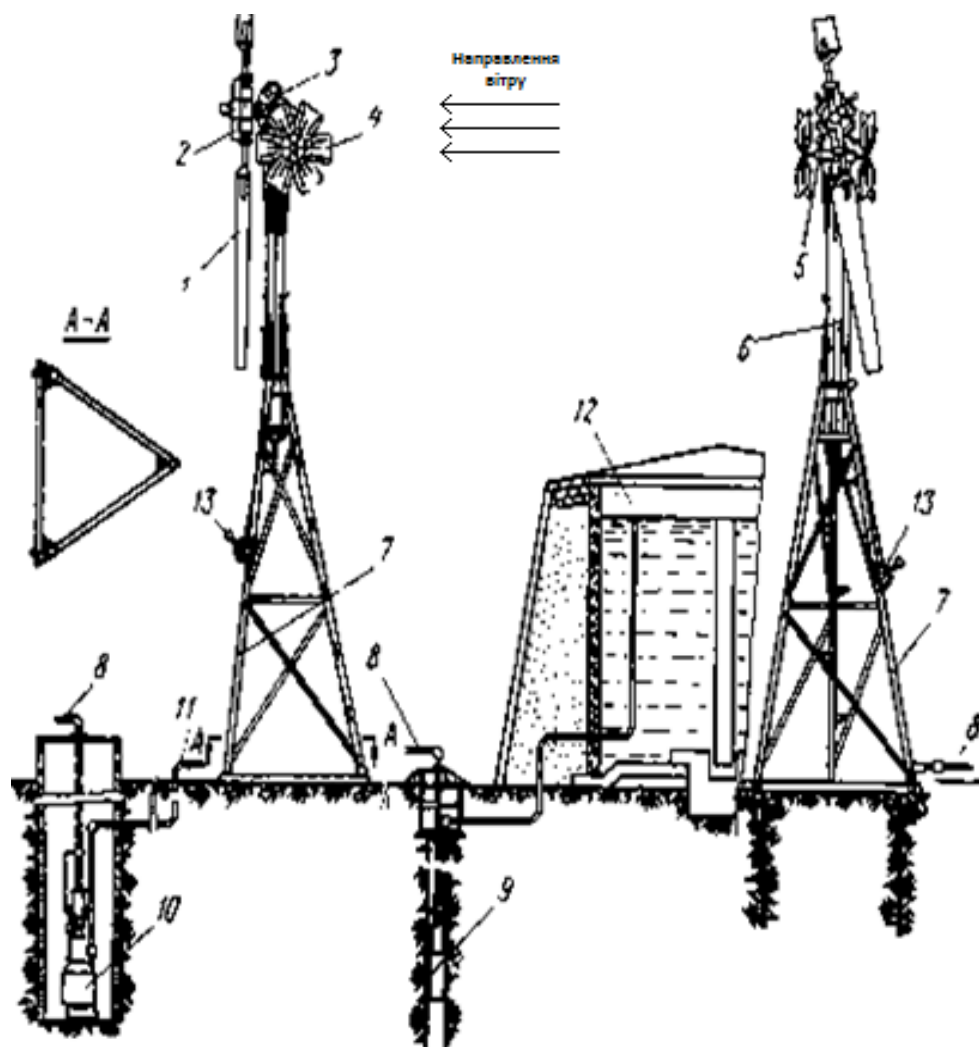
- 3) опора (вежа, башта, щогла) – тримає гондолу та ротор над поверхнею землі. Висота опори вибирається не тільки з умови росту швидкості вітру, але й з врахуванням умов монтажу, ремонту, обслуговування, ваги та вартості;

- 4) опорно-повертальний пристрій – служить для повертання гондоли та ротора навколо вертикальної осі до напрямку повітряного потоку. Даний пристрій може мати допоміжний конструктивний елемент – віндрозу, що являє

собою багатолопатевий ротор для приведення в дію опорноповоротної системи у напрямку повітряного потоку;

5) система керування поворотом гондоли – утримує вісь ротора у напрямі повітряного потоку з найменшим відхиленням (никанням);

6) трансмісія – система для передачі крутного моменту від валу ротора до робочої машини.



- 1 – ротор;
- 2 – мультиплікатор;
- 3 – електрогенератор;
- 4 – віндрози;
- 5 – гондола;
- 6 – опора;

- 7 – основа;
- 8, 11 – трубопровід;
- 9 – занурений насос;
- 10 – пневмонасос;
- 12 – резервуар;
- 13 – пусковий механізм.

Рисунок 1.16 – Конструкція вітроелектричного агрегату [54]

Потенціал використання енергії вітру в Україні має велику перспективу. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України складена карта вітроенергетичного потенціалу нашої країни (рис. 1.17). Найбільш привабливими регіонами для використання енергії вітру є узбережжя Чорного та Азовського морів, гірські райони тимчасово окупованої АР Крим, територія Карпатських гір, Одеська, Херсонська та Миколаївська області [15].

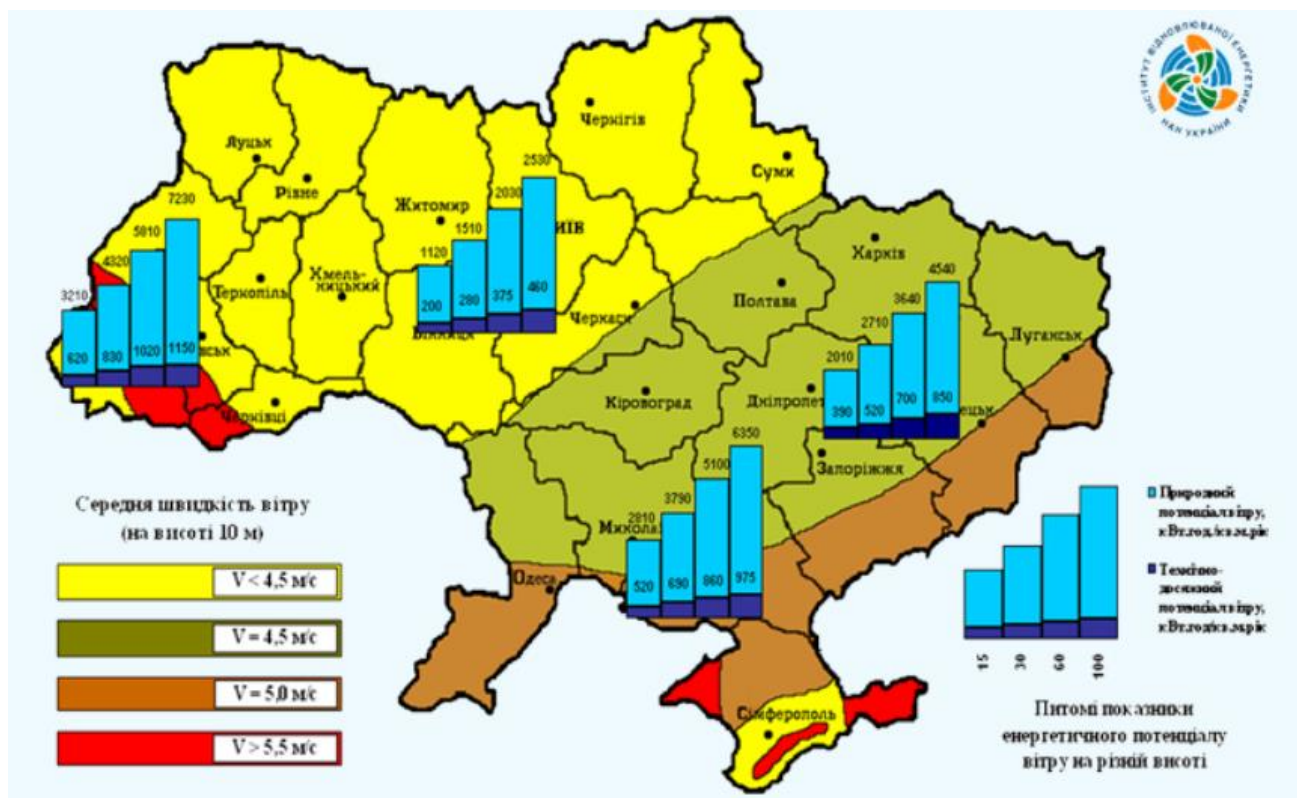


Рисунок 1.17 – Карта вітроенергетичного потенціалу України [15]

Станом на 31.12.2019 встановлена потужність ВЕУ становить 1170 МВт [16]. На рис. 1.18 зображено приріст встановленої потужності в Україні з 2015 по 2019 роки.

Загальна встановлена потужність на кінець 2019 року (МВт)

Country/Region	2019	2018	2017	2016	2015
Lithuania	548	548	493	493	424
Croatia	652	613	613	423	423
New Zealand	690	623	623	623	623
Bulgaria	691	691	691	691	691
Chinese Taipei	712	702	692	682	647
Ukraine	1170	593	593	559	514
Morocco	1200	795	795	795	795
Pakistan	1238	1189	789	591	256
Korea, South	1420	1302	1136	1031	834
Egypt	1452	1190	810	810	810
Thailand	1538	1215	647	223	223
Argentina	1604	722	279	279	279
Uruguay	1647	1647	1505	1210	856
South Africa	2085	2085	2085	1471	1053

Рисунок 1.18 – Загальна встановлена потужність в Україні

За даними Renewables Global Status Report – REN21 [16] світовий ринок вітроенергетики у 2019 році збільшився на 19% та загалом становить 650 ГВт (рис. 1.19). Такий сплеск зумовлений швидким зростанням виробництва у Китаї та США. Нові ВЕУ запрацювали близько у 55 країнах світу.

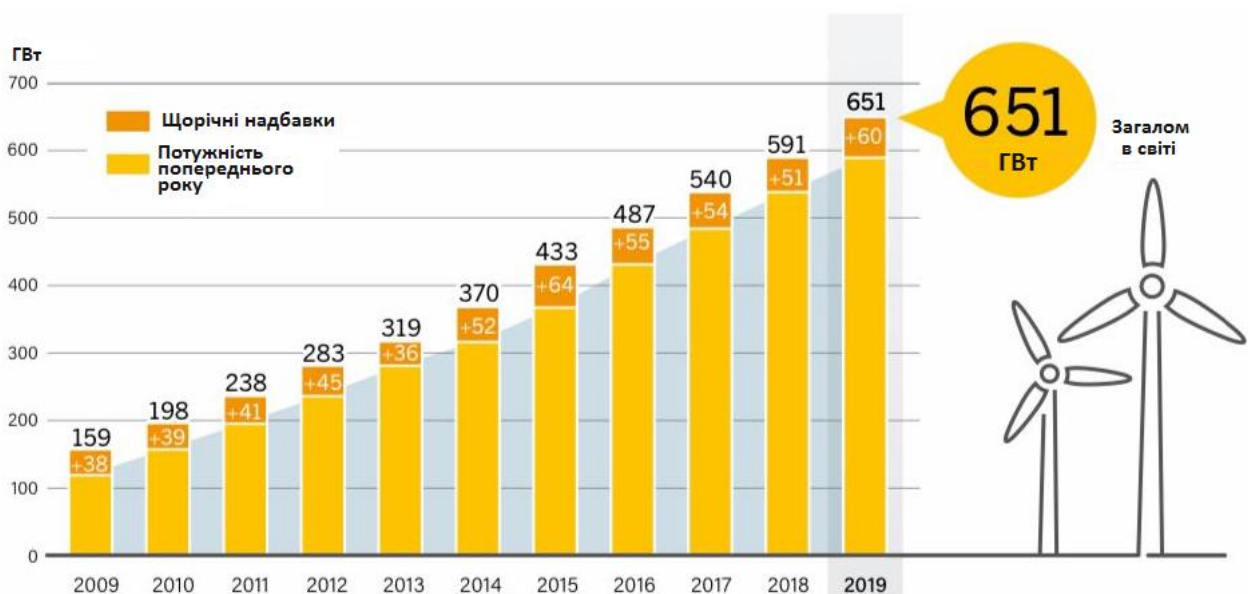


Рисунок 1.19 – Глобальна потужність ВЕУ та щорічні надбавки, 2009–2019 рр

1.6.3 Енергія біомаси

Біоенергетика передбачає використання широкого спектру біологічних матеріалів для енергетичних цілей. Біомаса – це речовини органічного походження, яка зазнала біологічного розкладу, наприклад, сільськогосподарські культури, відходи деревини з лісового господарства, рідкі види біопалива тощо. Біоенергетична галузь має високий потенціал розвитку на території України, це зумовлено особливостями клімату та потенціалом аграрного сектору [14].

Частка електричної енергії з біомаси в Україні склала близько 2,2 % (рис. 1.20) від усієї відновлюваної електричної енергії та близько 2 % від загального кінцевого енергоспоживання країни у 2018 році [17].

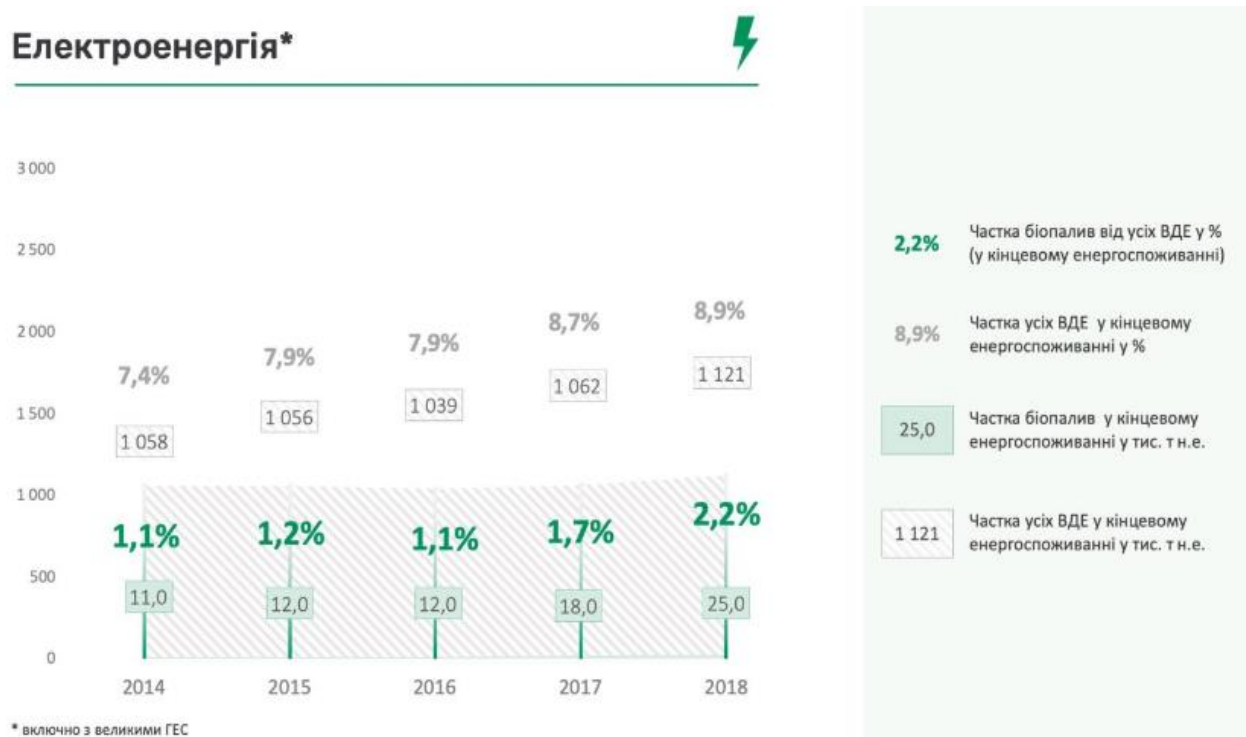


Рисунок 1.20 – Частка електричної енергії з біомаси [17]

За оцінкою Біоенергетичної асоціації України [17], станом на 2018 р. потенціал енергії з біомаси складає 23 млн. т.н.е. Основними складовими цього потенціалу є побічні продукти рослинництва (загалом 10 млн. т.н.е. або 44 % від загального потенціалу біомаси) та енергетичні культури (загалом 7,5 млн. т.н.е.

або 32 % від загального потенціалу). До побічних продуктів рослинництва включають солому зернових і ріпаку, стебла кукурудзи, соняшнику і т.п. Енергетичні культури включають у себе вербу, тополь та міскантус для твердого біопалива і кукурудзу для біогазу [18].

У період 2020–2050 рр. в Україні використання деревної біомаси залишатиметься на такому ж рівні, проте зросте частка використання соломи, стебел, лушпиння соняшника, сільськогосподарських залишків, енергокультур, рідкого біопалива, твердих побутових відходів для виробництва енергії [18].

На рис. 1.21 графічно зображено виробництво біоенергетики в різних регіонах світу в період з 2009 по 2019 рр. За прогнозом UABIO [18] у 2020–2050 рр. близько 25 % твердих біопалив та біогазу буде використано для виробництва електричної енергії.

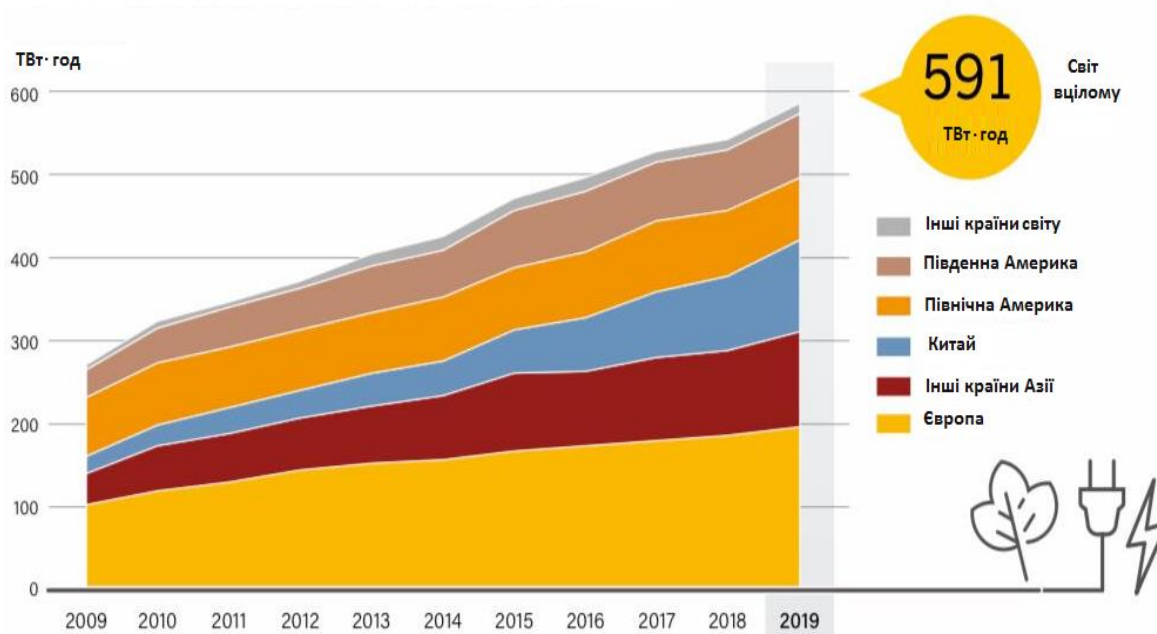


Рисунок 1.21 – Виробництво біоенергетики в різних регіонах світу, 2009–2019 рр.

Основними причинами розвитку біоенергетики на території України є:

– енергетична незалежність (можливість прогнозувати виробничі потужності біоенергетичних установок);

- сприяння розвитку місцевої економіки та створення нових робочих місць;
- додатковий дохід для фермерів, за рахунок продажу біомаси.

До бар'єрів, які стримують розвиток біоенергетики можна віднести:

- нерозвинений ринок палива та відсутність нормативно-правової бази;
- монопольне становище ринку тепlopостачання;
- низька інвестиційна привабливість біоенергетичних проєктів.

В Україні діє два стимулюючі механізми для виробників електричної енергії використовуючи біомасу та біогаз [34]:

- “зелений” тариф (можна отримати виробникам електричної енергії з біомаси чи біогазу; встановлюється до 2030 року і гарантований державою);
- система аукціонів (проєкти з виробництва електричної енергії з біомаси та біогазу беруть участь в аукціонах за власним бажанням. На аукціоні проєкт отримує тариф на електричну енергію від держави на 20 років. Це означає, що держава зобов'язується купувати електричну енергію в обсязі (Вт) і ціні (євроцентів/кВт•год), яка визначена на аукціоні, протягом 20 років після аукціону).

Дані тарифи регламентуються Законом України «Про ринок електричної енергії» [19] та Законом України «Про альтернативні джерела енергії» [11].

1.6.4 Енергія водних ресурсів

Для перетворення механічної енергії води на електричну, використовуються ГЕС. Для створення потоку води необхідно перепад висоти русла річки. Для цього будують греблю (6), (рис. 1.22) яка слугує для створення водосховища (1). Рух води з висоти приводить в рух лопаті турбіни, які в свою чергу змушують вал електрогенератора (4) обертатись та виробляти електроенергію. Електрична енергія, яка виробляється таким способом, має найменшу собівартість в порівнянні з енергією виробленою іншими ВДЕ.

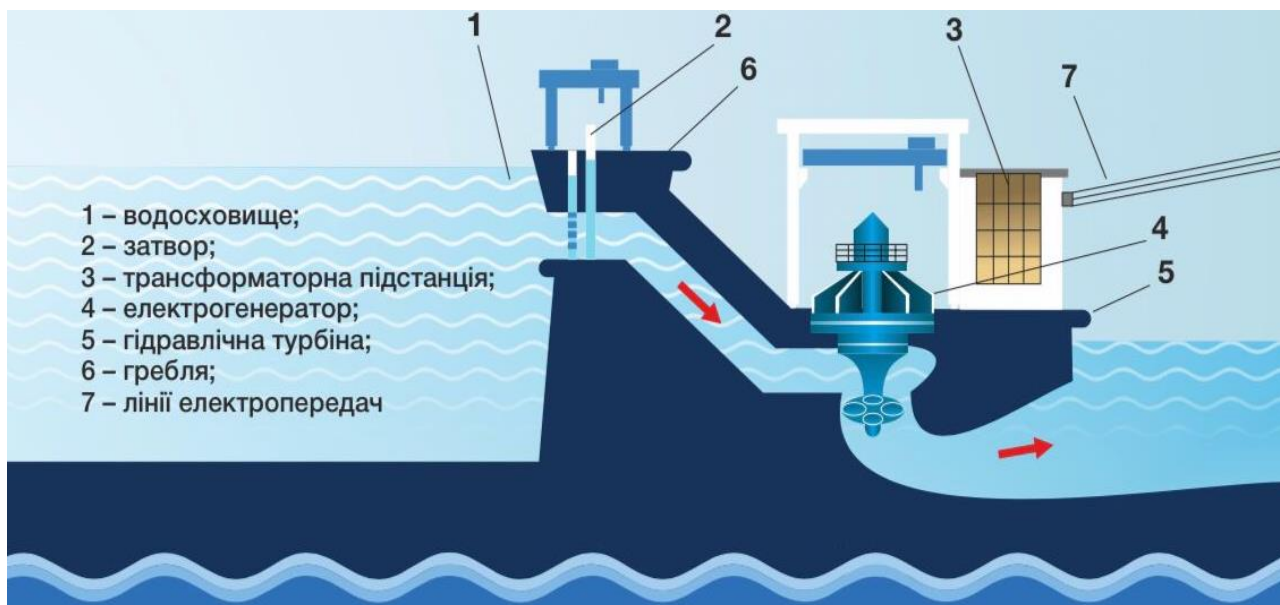


Рисунок 1.22 – Схема гідроелектростанції

До переваг вироблення електроенергії на ГЕС можемо віднести:

- низьку собівартість електроенергії;
- забезпечення віддалених районів електроенергією;
- запобігання паводкам.

Основними недоліками вважають:

- негативний вплив на екосистему річок;
- затоплення великих територій, зокрема орних земель;
- осушення річок.

Проте будівництво малих ГЕС не завдає помітних збитків довкіллю, адже для них немає необхідності суттєво піднімати рівень води. Розвиток ГЕС сприяє децентралізації енергосистеми України, завдяки цьому дозволяє вирішити проблеми у електропостачанні віддалених районів, які не оснащені лініями електропередачі.

Окрім ГЕС, використання енергії води може відбуватись завдяки гідроакumuлювальних електростанцій (ГАЕС) (рис. 1.23). Вони не є самостійними джерелом енергії, а являють собою акумулятор, який зберігає енергію вироблену іншими джерелами. ГАЕС працює в двох режимах: насосному та турбінному (генераторному).

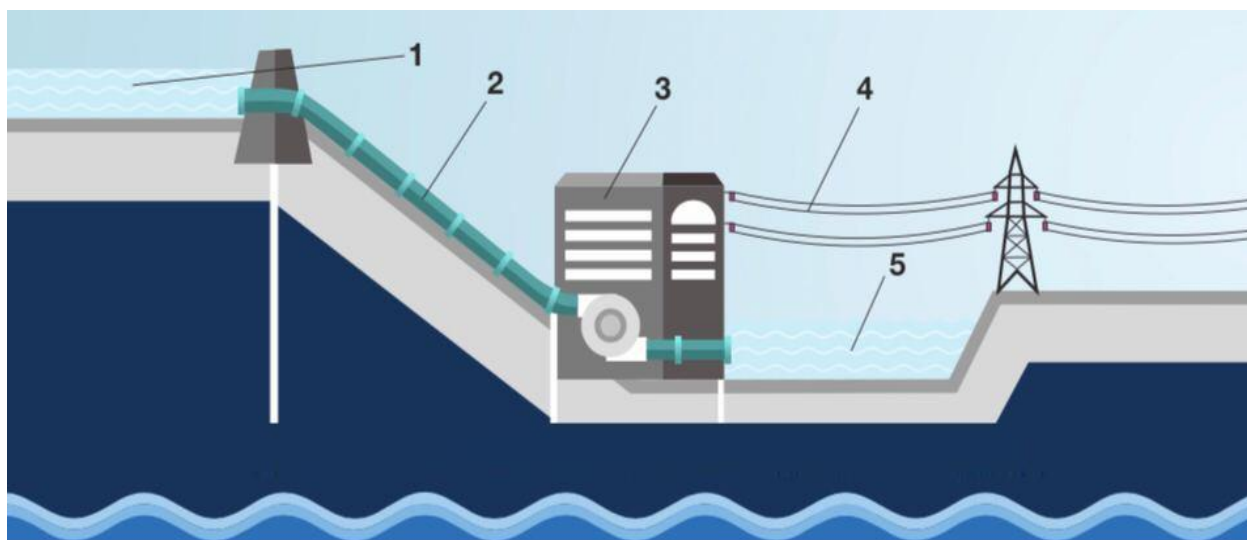


Рисунок 1.23 – Схема ГАЕС

У насосному режимі вода з нижньої водойми (5) перекачується гідроагрегатами ГАЕС у верхню водойму (1) по трубопроводах (2). У цьому режимі ГАЕС зазвичай працює в нічний період, коли навантаження на енергосистему падає, і є надлишок електроенергії, яку й споживає ГАЕС.

У турбінному режимі вода з верхньої водойми скидається в нижню через агрегати ГАЕС (3), а вироблена електроенергія через лінії електропередачі (4) подається в енергосистему споживачам. У цьому режимі ГАЕС працює у періоди максимального навантаження в енергосистемі (зазвичай у години вечірнього та ранкового піків у добовому графіку навантажень) [3].

Відповідно до Енергетичної стратегії України [6] передбачається збільшення загальної потужності ГЕС України з 10 до 16 % (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Прогноз виробництва електроенергії на ГЕС до 2030р.

Стаття балансу	Прогноз		
	2020	2025	2030
1.2 Виробництво електроенергії на ГЕС	13,0	14,0	14,0
1.3 Виробництво електроенергії на ГАЕС	7,0	7,0	7,0

На сьогодні, в Україні працює 7 гідроелектростанцій: Київська (ГЕС та ГАЕС), Канівська, Кременчуцька, Дніпродзержинська, Дніпровська, Каховська та Дністровська. Сумарна встановлена потужність становить – 4700 МВт.

1.7 Локальні джерела генерування в системах розподіленого та централізованого енергоспоживання

Локальними джерелами генерації називають об'єкти, які розташовані досить близько від кінцевого споживача. В якості локальних джерел генерації можуть застосовуватись установки, які працюють використовуючи, як відновлювані джерела енергії, так і традиційні. Перехід від централізованого енергопостачання до власної генерації вважається загальносвітовою тенденцією.

Енергопостачання від локальних джерел генерації має низку переваг:

- відсутність втрат на транспортування енергії в локальних системах через незначні протяжності інженерних мереж;
- зменшення вартості та тарифів при локальному енергопостачанні;
- надійність локального енергопостачання, за рахунок незначних протяжностей інженерних мереж, так як аварія на централізованій системі залишає без електроенергії цілі міста та райони.

Розосереджена генерація (РГ) – це сектор енергетичного комплексу, який включає в себе малі генеруючі установки, які можуть працювати автономно або бути підключеними до загальної мережі.

На сьогодні, можна виділити три категорії генеруючих потужностей, які відносять до РГ [1, 22]:

- блок-станції, джерело електричної або теплової енергії, які розташовані на території або безпосередньо близько від промислового підприємства та належать власникам цього підприємства, на правах власності.
- теплоелектроцентралі підприємств та малонаселених територій;
- джерела РГ.

Система РГ – це повністю інтегрована, саморегулююча та самовідновлювальна енергетична система, що має мережеву топологію, включає

в себе всі джерела генерації, всі електричні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв та систем у режимі реального часу [57]. Така система має назву Smart Grid. Дана концепція дозволяє забезпечити синхронну роботу джерел розосередженої генерації. Використання РГ дає змогу підвищити надійність споживачів електричної енергії, зменшити витрати на передачу та виробництво електроенергії.

Розосереджені джерела енергії поділяються за рівнем впливу неконтрольованих факторів навколишнього природного середовища та первинними енергоносіями на [56]:

- відновлювані джерела з слабо-керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, але генерування значно відрізняється залежно від часу доби та погодних умов (вітрові електростанції (ВЕС), СЕС);
- відновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, мають стабільне генерування протягом встановленого проміжку часу (малі гідроелектростанції, геотермальні, біогазові установки тощо);
- не відновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують здебільшого традиційні джерела енергії, але мають абсолютно керований процес генерування (когенераційні установки (КГУ), парогазові та газотурбінні установки (ПГУ, ГТУ) та ін.).

Застосування об'єктів РГ в деяких випадках може змінити умови для соціально-економічного розвитку території, збільшити об'єми інвестицій та є початком технологічного розвитку. Основні позитивні фактори можна поділити на три групи:

- економічні;
- соціальні;
- технологічні.

До економічних та соціальних факторів можна віднести:

1. Комплексне вирішення проблем енергозабезпечення;

2. Поєднання різних видів палива для виробітку електроенергії;
3. Зниження втрат на транзит в порівнянні з втратами на магістральних мережах;
4. Перспективи у використанні споживачами, які віддалені від магістральних мереж;
5. Малі капітальні витрати;
6. Інвестиційна привабливість об'єктів розосередженої генерації для малого та середнього бізнесу;

Технологічні фактори впровадження РГ:

1. Підвищення енергетичної безпеки підприємств за рахунок збільшення частки місцевих енергоресурсів, застосування альтернативних джерел енергії та відмові від централізованого енергопостачання;
2. Підвищення надійності електропостачання споживача в першу чергу за рахунок скорочення протяжності ліній електропередачі та розташування РГ поблизу центрів енергетичних навантажень;
3. Можливість використання концепції Smart Grid для гнучкості керування великою кількістю об'єктів генерації в енергосистемі;
4. Покращення екологічного становища шляхом зменшення кількості парникових газів.

Серед недоліків можна виділити:

- Складність у прогнозуванні виробітку електроенергії ВДЕ, для забезпечення заданого рівня надійності необхідно, як резерв, використовувати класичні електростанції;
- Недостатня кількість практичного досвіду. Для безперебійної роботи РГ на ВДЕ необхідно приділяти більше уваги підвищенню надійності електропостачання, регулювання частоти та напруги в мережах;
- Паралельна робота великого числа об'єктів РГ з енергетичною системою потребує наукових досліджень.

Висновки до першого розділу

Узагальнивши результати проведення літературного аналізу [27, 28], можна зробити наступний висновок, енергетична галузь є основою соціального та економічного розвитку держави. Попит на викопні джерела енергії постійно зростає, проте їх запаси щороку зменшуються. Використання альтернативних джерел енергії дозволить вирішити проблему, яка пов'язана з погіршенням клімату у світі. Основні переваги та недоліки використання ВДЕ наведено в таблиці 1.2.

На сьогодні встановлена потужність об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України становить 54233.00 МВт (рис. 1.24) [20].



Рисунок 1.24 – Встановлена потужність ОЕС України

Аналізуючи рис. 1.24, можна побачити, що серед ВДЕ найбільш перспективним в Україні є використання саме сонячної енергії. Це зумовлено вигідним географічним розташуванням нашої держави.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки використання енергетичних установок з використанням альтернативних та традиційних джерел енергії

Вид енергії	Переваги	Недоліки
Енергія сонця (СЕС)	<ul style="list-style-type: none"> – загальнодоступне та невичерпне джерело енергії; – екологічно безпечна; – автономність системи; – простота в обслуговуванні; – можливість колективного підключення; – безшумність в роботі; – можливість акумулювати енергію; – середній термін служби обладнання 30...50 років. 	<ul style="list-style-type: none"> – залежність від погоди та часу доби; – високі капіталовкладення; – низьке значення ККД; – потреба у великій площі для розміщення обладнання.
Енергія вітру (ВЕС)	<ul style="list-style-type: none"> – загальнодоступне та невичерпне джерело енергії; – екологічно безпечна; – автономність; – ергономіка. 	<ul style="list-style-type: none"> – шум; – висока вартість; – великий термін окупності; – нестабільність вітрового потоку; – небезпека для птахів, кажанів та інших тварин.
Біомаса та біоенергетичні установки	<ul style="list-style-type: none"> – відносно дешеве джерело енергії; – не має географічних обмежень; – не потребує значних інвестицій. 	<ul style="list-style-type: none"> – розосередженість запасів; – зберігання протягом тривалого часу до переробки.
Енергія води (ГЕС)	<ul style="list-style-type: none"> – невичерпність ресурсів; – швидкість запуску станції; – запобігання паводкам. 	<ul style="list-style-type: none"> – затоплення орних земель; – негативний вплив на екосистему річок; – осушення річок.
Газотурбінні установки	<ul style="list-style-type: none"> – установка потребує мінімальних витрат води; – швидкий ввід турбогенератора в роботу. 	<ul style="list-style-type: none"> – великі розміри котла (в замкнутому циклі); – фактична потужність може бути меншою за власну; – шумове забруднення.

Продовження таблиці 1.2

Парогазові установки	<ul style="list-style-type: none"> – високе значення ККД; – низька вартість одиниці встановленої потужності; – компактні розміри. 	<ul style="list-style-type: none"> – необхідність у фільтрації повітря, яке використовується для згоряння палива; – сезонні обмеження по потужності; – зазвичай працюють лише з використанням природного газу.
Дизельні електростанції (ДЕС)	<ul style="list-style-type: none"> – високе значення ККД; – швидкість будівництва; – компактність; – великий термін експлуатації. 	<ul style="list-style-type: none"> – висока вартість експлуатації; – не надійна робота при низьких температурах; – час роботи обмежений запасом палива; – завдає шкоду екології за рахунок спалювання палива; – шумове забруднення.

На рис. 1.25 показано встановлену потужність ВДЕ на території України за період 2015-2020 рр.

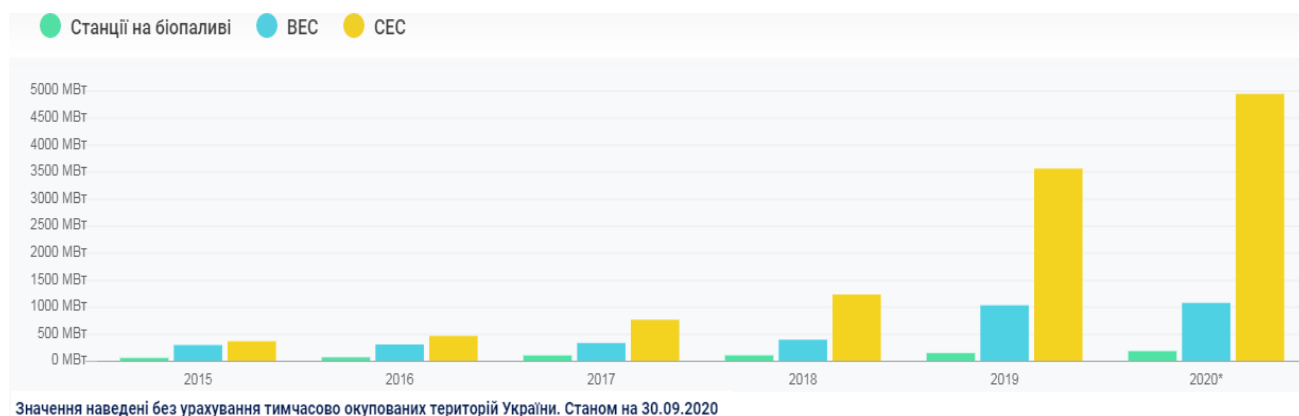


Рисунок 1.25 – Встановлена потужність ВДЕ

Графік помісячної встановленої потужності ВДЕ за 2018-2020рр зображено на рис. 1.26.

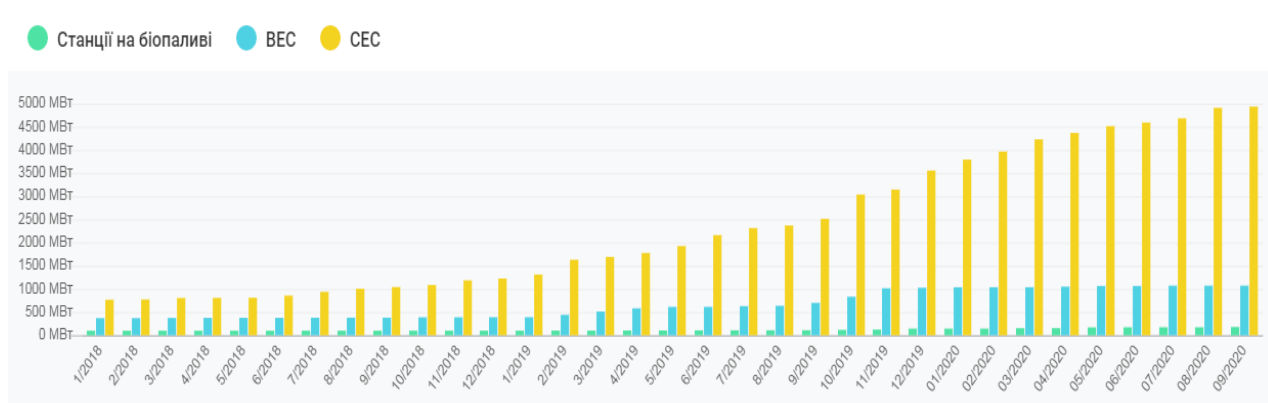


Рисунок 1.26 – Помісячна встановлена потужність ВДЕ

2 КОМБІНОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЇЇ ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ

2.1 Характеристика комбінованої системи електропостачання

Впровадження нових технологій з використанням ВДЕ дозволяє значно зменшити проблему енергопостачання децентралізованих ділянок, зменшити витрати бюджету на поставку та закупку палива для дизельних електростанцій. Проте, як згадувалось раніше, головним недоліком ВДЕ є нестабільність в часі, так як їх виробіток залежить від погодних умов. У зв'язку з цим виникає необхідність комбінувати ВДЕ між собою або з генераторами на рідкому паливі. Головна ціль комбінованих (гібридних) установок максимально використовувати альтернативні джерела енергії, накопичувальні елементи, для економії палива ДЕС, які будуть виробляти потужність якої не вистачатиме для забезпечення безперебійного електропостачання. Така гібридна система частіше включає в себе два найбільш розповсюджених елементи – вітрогенератор та сонячні батареї. Для підвищення надійності в якості резерву можна використовувати дизельгенератори або мережу.

Розглянемо конкретний приклад гібридної системи. Зазвичай вітрогенератор та фотоелектричні панелі перетворюють енергію на постійному струмі, на одній напрузі та через контролер заряду заряджають акумуляторні батареї. В момент найбільшого попиту на електроенергію (години максимуму), а також в час розрядки акумуляторних батарей відбувається автоматичний запуск дизельгенератора, для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів. Для необхідності перетворення постійного струму в змінний встановлюють інвертор. На рис. 2.1 зображено описану вище систему.

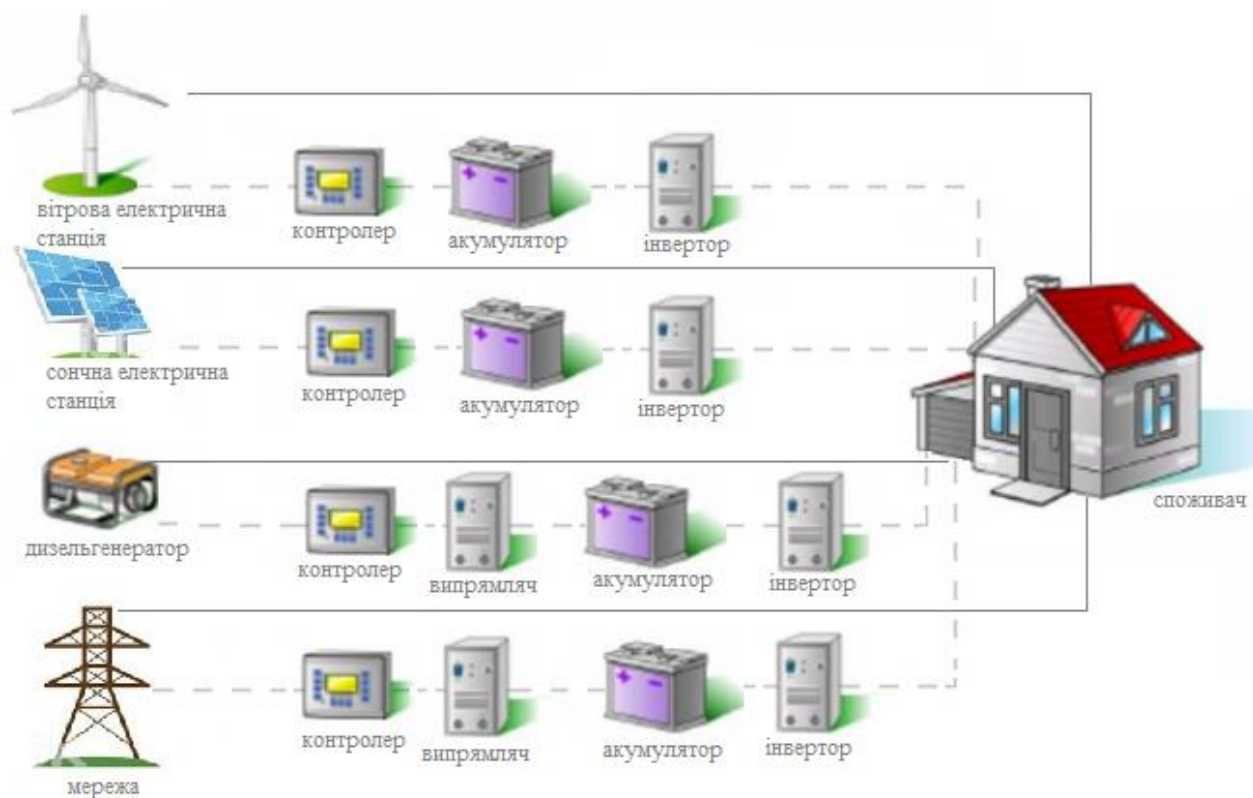


Рисунок 2.1 – Гібридна система електропостачання

2.2 Акумуляування енергії різними типами накопичувачів

Акумулятори енергії можуть мати різну фізичну природу та принцип роботи. На сьогодні, для накопичення виробленої сонцем та вітром енергії використовують:

- електрохімічні батареї;
- стиснене повітря;
- супермаховик;
- гідроенергію.

2.2.1 Електрохімічні накопичувачі

Електролізні накопичувачі зберігають електричну енергію у вигляді електрохімічної енергії завдяки окисно-відновлюваних реакцій в електрохімічних елементах, які складаються з електроліту та двох електродів: один притягує негативно заряджені іони (аніони) та позитивно заряджені іони (катіони). Під час зарядки електрони виходять з анода та потрапляють на катод,

у зв'язку з цим створюється різниця потенціалів між двома електродами. Під час розрядки відбувається зворотна дія. Об'єм енергії, який може зберігатись в елементі накопичувача визначається кількістю активних іонів в електроліті. Потужність визначається площею поверхні електродів, так як, чим більша площа, тим більше матеріалів залучено в окисно-відновлювані реакції. Висока надійність акумуляторів забезпечує енергетичну безпеку.

Система акумуляторів складається з декількох електрохімічних елементів, які з'єднані між собою послідовно або паралельно, та які в результаті електрохімічної реакції спільно виробляють електроенергію. На сьогодні, основними недоліками є обмежене число циклів зарядки та високі експлуатаційні витрати. Також потребує уваги питання утилізації акумуляторів, у випадку якщо вони мають токсичні хімічні речовини.

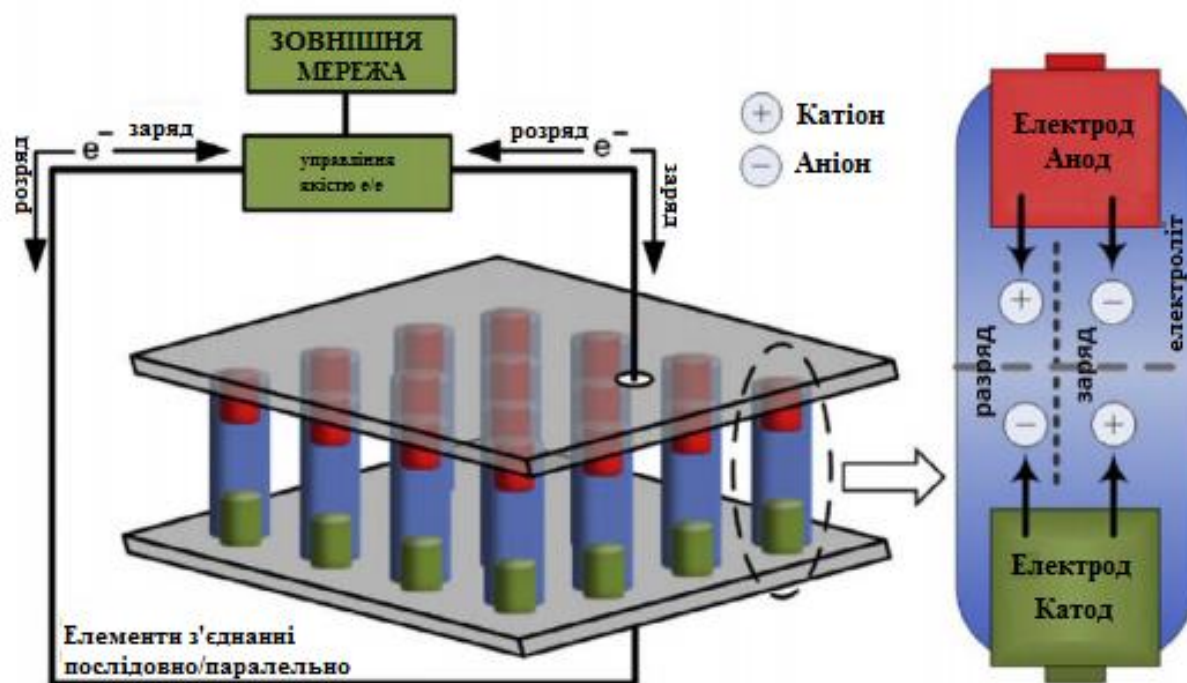


Рисунок 2.2 – Схематичний опис принципу роботи акумулятора

Відносно новою вважається технологія проточних акумуляторів, які здатні накопичувати енергію в двох рідких електролітах з окисно-відновлюваними парами іонів. Ці електроліти перекачуються із резервуарів в електролітичні елементи, кожен з яких складається із двох секцій, що розділені іоноселективними

мембранами, через які проходять потоки відповідних електролітів. Функціонування засноване на окисно-відновлюваних реакціях в розчинах електролітів. Під час зарядки один електроліт окислюється в аноді, інший відновлюється на катоді, а електрична енергія перетворюється в хімічну енергію електроліту. Під час розрядки даний процес протікає в зворотному напрямі.

Електролізні накопичувачі, як і всі інші технології накопичення, можуть застосовуватись в різних секторах електроенергетики, для забезпечення системних послуг, резервування та зміщення в часі поставки електроенергії. Важливим стимулом розвитку та використання технологій електролізних накопичувачів є їх масштабність та відсутність обмежень за місцем розташування. Інтеграція в енергосистему нерегулярних ВДЕ призводить не лише до позитивних результатів, таких як зменшення викидів, але і до необхідності підвищення гнучкості енергосистеми.

До параметрів, які характеризують електрохімічні акумулятори відносять:

- вихідну потужність;
- час реагування на команди;
- ефективність циклу розряду/заряду;
- термін служби;
- резерв за кількістю циклів розряду/заряду.

Найбільш широкого застосування набули наступні типи акумуляторів:

- літій-іонний акумулятор;
- натрієво-сірчаний акумулятор;
- свинцево-кислотний акумулятор;
- водневий акумулятор.

Літій-іонні акумулятори через їх високої питомої потужності знайшли застосування у багатьох стаціонарних установках малої потужності, завдяки здатності відстежувати навантаження. До переваг можна віднести: висока питома потужність, великий ресурс циклів, ефективний цикл розряду/заряду, для виробництва можливі використання різних хімічних складів. До недоліків: деякі види електроліту – токсичні, тому потребують більших витрат на утилізацію.

Нітрієво-сірчані акумулятори оптимально підходять для промислового використання. Вони здатні працювати на високих температурах, (від 250°C до 350°C) які виникають за рахунок тепла хімічних реакцій та ефективної ізоляції елементів. Основними перевагами є: відносно висока питома потужність, ефективний цикл розряду/заряду, тривалий термін експлуатації, відносно недорогі матеріали. Недоліки: потреба в обігріві, здатність до корозії.

Свинцево-кислотні акумулятори – відпрацьована технологія, яка широко застосовується в промисловому секторі, для джерел безперебійного живлення та в автономних акумулюючих установках. Основними недоліками є: низька щільність енергії, чутливість до глибини розряду, містять у складі свинець та сірчану кислоту.

Акумулювання водню дозволяє досягнути високої щільності зберігання енергії при використанні його скраплення. Ключовою перевагою від інших технологій є те, що заряд (в електролізері) та розряд (наприклад в газовій турбіні) може здійснюватися в різних місцях. Загальне значення ККД водневого циклу є низьким, за рахунок сумарних втрат на технологічних етапах. У випадку використання великого об'єму надлишкової електроенергії від ВДЕ, для заряду акумулятора, вплив низького значення ККД на ефективність використання технологій може бути знижено. Переваги: здатність накопичувати великий об'єм енергії за рахунок високої щільності зберігання, єдина технологія яка підходить для сезонного застосування. Недоліки: низька ефективність циклу розряду/заряду, високий рівень затрат. Дата технологія знаходиться на стадії розробки.

З точки зору економічної ефективності використання того чи іншого типу технологій акумулювання важливими вважаються наступні характеристики:

- капітальні затрати на одиницю потужності та одиницю ємності;
- об'єм витрат на експлуатацію та технічне обслуговування за рік;
- характерний час розряду;
- кількість циклів розряду/заряду акумулятора.

На рис. 2.3 приведено числові значення характеристик різних технологій електрохімічного акумулювання електроенергії.

Тип	Стан засвоєння	Вихідна потужність (МВт)	Час реакції	Ефективність (%)	Термін служби	
					Роки	Цикли
Літій-іонний акумулятор	Введений в дію	0,001 – 5	с	80-90	10-15	5 000 – 10 000
Натрієво-сірчаний акумулятор	Введений в дію	1 -200	с	75-85	10-15	2 000 – 5 000
Свинцево-кислотний акумулятор	Введений в дію	0,001-200	с	65-85	5- 15	2 500 – 10 000
Водневий акумулятор	Тестування	100-500	мин	< 40	10-30	Немає даних

Рисунок 2.3 – Числові значення характеристик акумуляторів

2.2.2 Стиснене повітря

Пневмоакумулююча електростанція (ПАЕС) – це система акумулювання енергії завдяки стисненому повітрю. Вона здійснює стиснення та зберігання повітря в геологічних підземних порожнинах, наприклад в соляних кавернах (печерах), або в спеціальних резервуарах. Загальний принцип роботи таких установок полягає в наступному: в період низького споживання в енергосистемі, надлишки електроенергії надходять до CAES та вмикають компресори, які в свою чергу нагнітають в підземельну порожнину повітря, та за рахунок цього створюється тиск. У разі нестачі потужності, стиснене повітря виходить зі сховища, за рахунок спалювання природного газу нагрівається та обертає турбіну-генератор, яка повертає в мережу накопичену енергію (рис. 2.4). Таким чином, електрична енергія перетворюється в теплову та механічну у вигляді гарячого повітря, яке знаходить під тиском. Основним недоліком такої установки є використання традиційних джерел енергії, а саме природного газу, та викиди CO₂ в атмосферу.

Для збільшення ефективності роботи таких установок, необхідно щоб процес проходив без втрат тепла, тобто був адіабатичним. Впродовж останніх років продовжується розробка та тестування адіабатичних ПАЕС в яких тепло,

яке виділяється під час спалювання газу, зберігається та в подальшому використовується для нагріву стиснутого повітря перед подачею його в розширювальну турбіну.

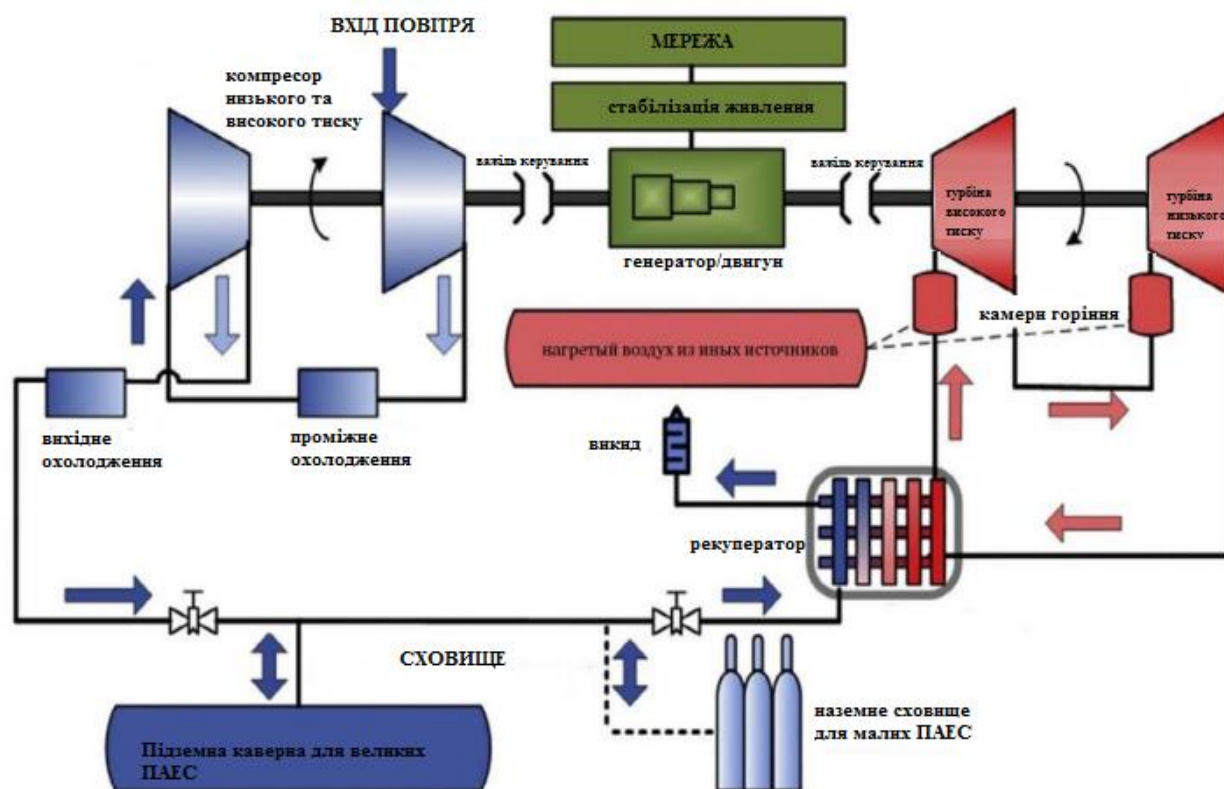


Рисунок 2.4 – Схематичний опис принципу роботи ПАЕС

Ізотермічна ПАЕС – ще одна технологія яка дозволяє підвищити ефективність використання традиційної схеми акумуляування енергії у вигляді стисненого повітря, в якій використовується декілька теплообмінників, які обмежують підвищення температури повітря під час стиснення або розширення.

Серед переваг ПАЕС можна виділити: простоту у використанні та тривалий термін експлуатації. Проте, у зв'язку з низькою ефективністю, яка пов'язана з великими втратами енергії, такі установки не здобули широкого використання.

2.2.3 Супермаховик

Супермаховик відноситься до електромеханічних накопичувачів. Завдяки такому пристрою електрична енергія перетворюється для акумуляування в

кінетичну енергію руху, а точніше обертання. Принцип роботи полягає заснований на поступовому розкрученні тіла, яке обертається за рахунок зовнішньої енергії. Супермаховик (рис. 2.5) представляє собою барабан, який під час надходження надлишків енергії, розкручується на велику швидкість (від 20,000 до 50,000 обертів за хвилину), електрична енергія накопичується у вигляді сили інерції під час обертання. Для вироблення енергії, на маховик встановлюється мотор-генератор, де у ролі статора є барабан, а ротора – вісь, навколо якої він обертається. Процес розряду перетворює обертання маховика назад в електроенергію через генератор. ККД системи становить 90-95%.

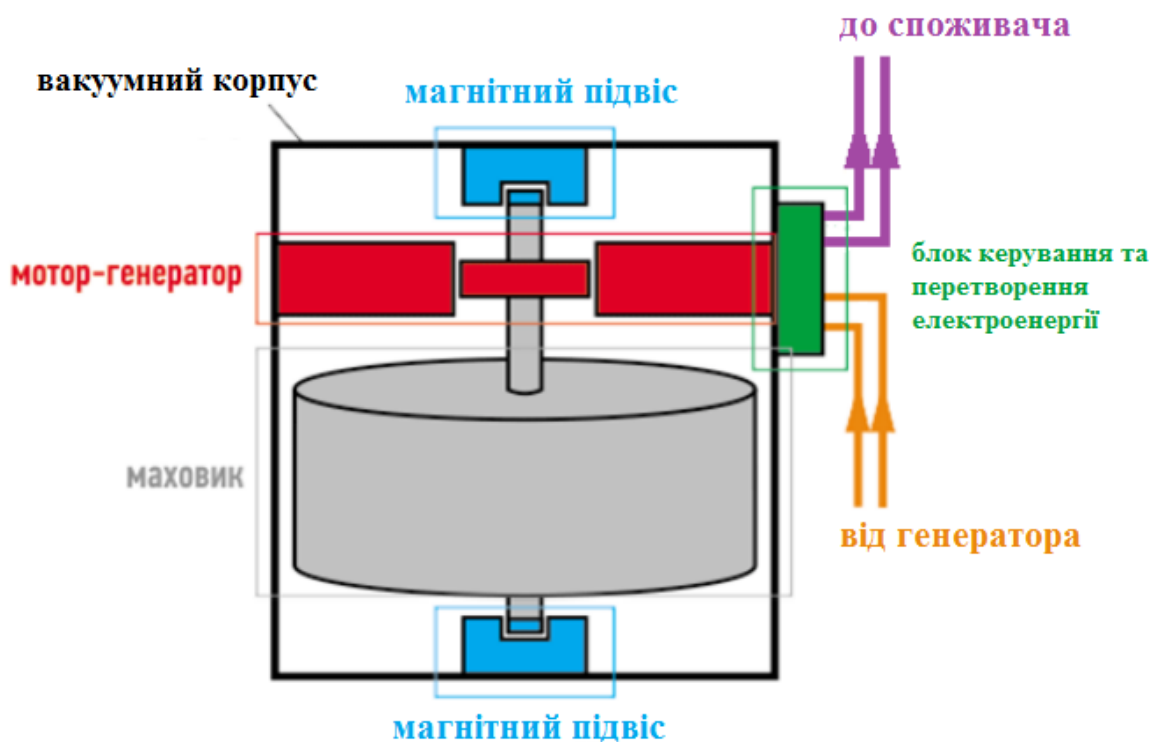


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення будови супермаховика

Кількість накопиченої енергії в маховику залежить від його маси, геометричних розмірів та швидкості обертання. При однаковому значенні маси більше енергії можна накопичити при великій швидкості, але швидкість обертання обмежується механічною міцністю матеріалу.

Кількість енергії, вироблена завдяки маховикам, має невелике значення, тому вони розраховані на короткострокові задачі, наприклад, для підтримки

живлення мережі, регулювання частоти. Діапазон потужності супермаховика становить від 2 до 200 кВт.

Головними перевагами супермаховика є екологічність, простота в технічному обслуговуванні, великий термін експлуатації (тобто велике число циклів заряду/розряду). Найчастіше такий тип накопичувача використовується у якості резервного джерела живлення та як технологія згладжування виробництва енергії завдяки ВДЕ. Перспективним шляхом розвитку технології акумулювання з використанням супермаховиків є об'єднання їх з батареями в гібридну систему накопичення енергії.

2.2.4 Гідроенергія

ГАЕС представляє собою два басейни (верхнього та нижнього). Надлишкова електрична енергія надходить на станцію та запускає електричні насоси, які перенаправляють воду з нижнього басейну у верхній. Як результат, електрична енергія перетворюється в потенціальну. Для повернення накопиченої електроенергії в мережу, вода переміщається із верхнього басейну та запускає турбіну (рис. 2.6).

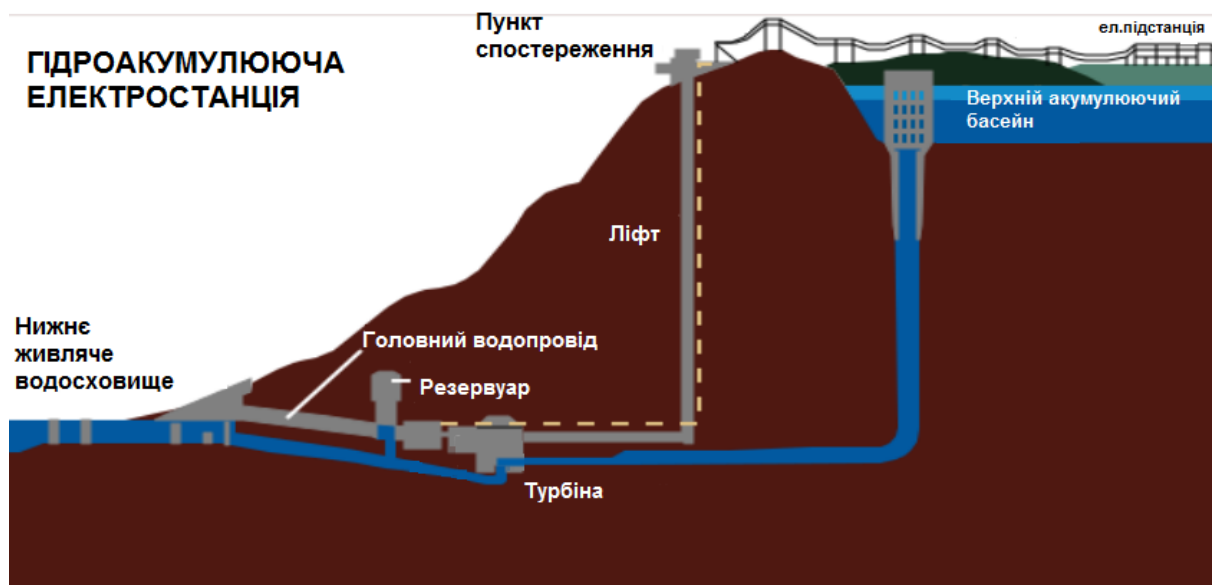


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення ГАЕС

ККД сучасних ГАЕС становить 80 %. Всі турбонасосні агрегати можуть регулювати вихідну потужність в турбінному режимі, але лише турбонасоси зі змінною частотою обертання можуть регулювати кількість енергії, що споживається в насосному режимі. Таким чином, для підвищення ефективності на сучасних ГАЕС для перекачування води використовують турбонасосні агрегати зі змінною частотою обертання. Для таких ГАЕС використовують асинхронні електродвигуни-генератори з регульованою частотою обертання.

За тривалістю циклу акумулювання ГАЕС поділяються:

- ГАЕС добового акумулювання (застосовуються найчастіше та характеризуються добовим циклом наповнення водойми. За тривалістю роботи їх поділяють на пікові, з роботою в турбінному режимі до 5 годин на добу, та напівпікові, з тривалістю від 5 до 15 годин на добу. Пікові та напівпікові ГАЕС в насосному режимі зазвичай працюють в період нічного провалу в графіку навантаження впродовж 6-7 годин на добу.

- ГАЕС тижневого акумулювання характеризується закачуванням у вихідні дні додаткового обсягу води у верхній акумулюючий басейн (це дозволяє в умовах зменшення споживання електроенергії в енергосистемі та за рахунок цього зменшувати навантаження на ТЕС), який використовується у робочі дні в турбінному режимі, щоб покрити пікові частини добових графіків навантаження.

- ГАЕС із сезонним циклом акумулювання характеризується тим, що у літній період, коли споживання електроенергії знижується, закачують додатковий обсяг води у верхній акумулюючий басейн й за рахунок цього в осінньо-зимовий період максимуму навантаження в енергосистемі збільшуються потужність і вироблення ГАЕС. Такий режим застосовується дуже рідко, тому що необхідна водойма великої ємності.

2.3 Призначення контролера

Контролер це пристрій, головним завданням якого є керування процесом як заряду та розряду акумуляторних батарей. Він необхідний для оптимізації регулювання режимів заряду/розряду з метою продовження терміну експлуатації

накопичувачів. Систематичний перезаряд призводить до кипіння електроліту, який знаходиться всередині батареї або до здуття герметичних батарей. Глибокий розряд небезпечний тим, що веде до сульфатних пластин та завершенню експлуатаційного терміну акумуляторних батарей. Особливо чутливими до перезаряду та перерозряду є свинцево-кислотні батареї, які найчастіше використовують фотоелектричні станції. В цілому, контролер є сполучною частиною, між джерелом генерації та накопичувачем, в комбінованій енергосистемі. До функціональних можливостей контролера відносять [24]:

- автоматичне підключення джерела генерації для заряду накопичувача;
- автоматичне відключення при повному заряді акумуляторної батареї;
- автоматичне відключення навантаження при встановленому рівні розряду накопичувача;
- підключення навантаження при достатньому заряді акумуляторної батареї.

Для СЕС найбільш розповсюдженими є використання контролерів двох типів:

- з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ, PWM);
- з алгоритмом пошуку точки максимальної потужності (ТМП, MPPT).

Контролер з ШІМ це послідовний контролер з регулюванням зарядної напруги, який відключає акумуляторну батарею при повному її заряді. Його режим роботи дозволяє досягати 100 % рівня заряду батареї. ШІМ зазвичай використовуються в СЕС малої потужності (від 100 Вт до 2 кВт). Коли напруга на акумуляторній батареї досягає певного значення, алгоритм ШІМ поступово струм заряду для запобігання перегріву батареї.

Основними функціональними можливостями контролера із широтно-імпульсною модуляцією є:

- 3 режими заряду: bulk, absorption, float (рис. 2.7);
- автоматичне підключення заряду при розряді акумуляторної батареї;
- автоматичне визначення робочої напруги накопичувача;
- електронний захист (запобіжники);

- захист батарей від глибокого розряду;
- захист від короткого замикання;
- захист від підвищеного значення напруги;
- тепловий захист;

Контролер з алгоритмом відслідковування ТМП дозволяє заряджати акумуляторну батарею з більш низьким значенням номінальної напруги, чим значення номінальної напруги сонячної батареї. Даний тип контролера дозволяє більш ефективно використовувати сонячну батарею та отримувати близько 30% додаткової генеруючої потужності за рік.

Основними функціональними можливостями контролера з відслідковуванням точки максимальної потужності є:

- 4 режими заряду: bulk, absorption, float, equalization (рис 2.7);
- електронний захист від перенавантажень;
- захист від перезаряду акумуляторної батареї;
- захист від короткого замикання;
- захист від перенапруги на вході;
- захист від імпульсних перенапруг;
- запобігання розряду акумуляторної батареї через сонячну батарею в нічний час.

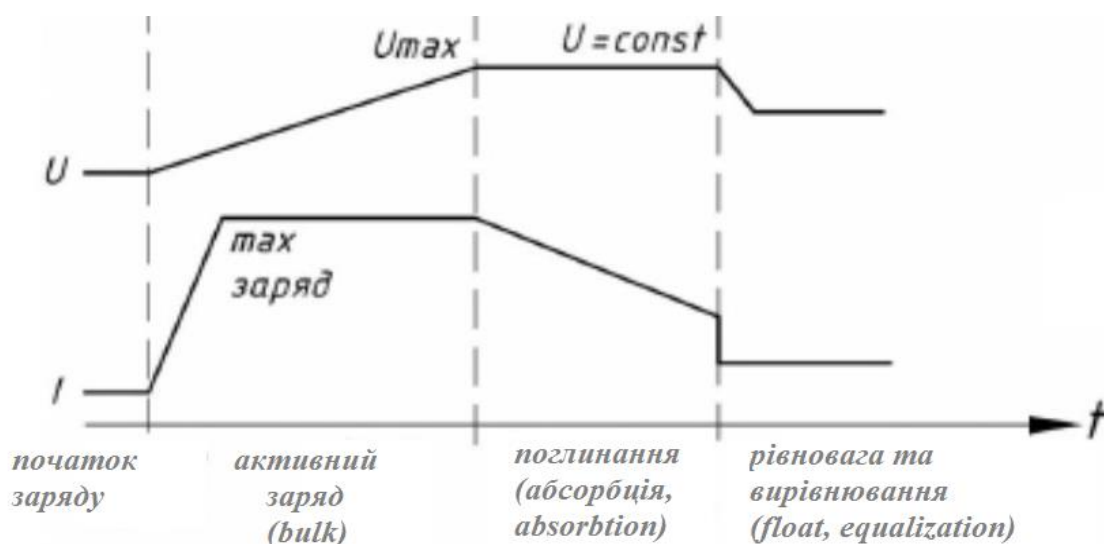


Рисунок 2.7 – Режимы розряду/заряду акумуляторної батареї за допомогою контролера

2.4 Використання інверторів

Інвертор це пристрій, який перетворює постійний струм у змінний, зі зміною напруги. За принципом комутації їх поділяють на: ведені мережею та автономні. В залежності від того який вихідний параметр є основним, перетворювачі поділяють на: інвертори струму та інвертори напруги.

2.4.1 Ведені мережею інвертори

Якщо частота переключень напівпровідникових елементів інвертора визначається частотою мереж змінного струму, то такий інвертор називається залежним, або мережевим. На рис. 2.8 зображено схему однофазного веденого мережею інвертора.

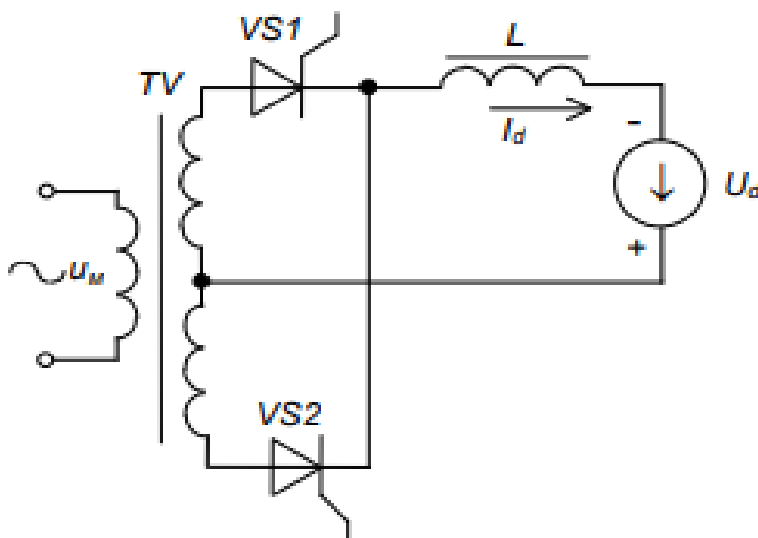
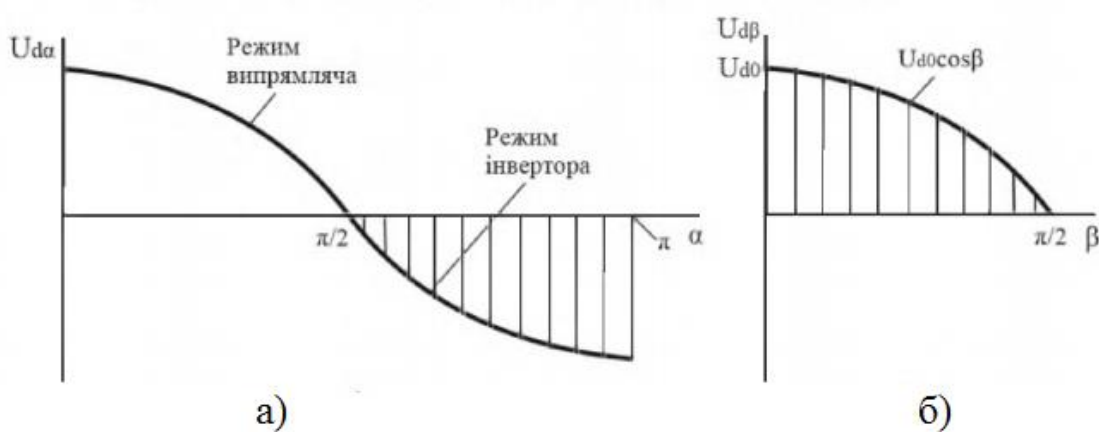


Рисунок 2.8 – Схема однофазного веденого мережею інвертора

В залежності від кута регулювання α перетворювач може працювати в режимі випрямляча ($\alpha < 90^\circ$), або в режимі інвертора ($\alpha > 90^\circ$) (рис. 2.8). Якщо напрямки напруги і струму в первинній обмотці трансформатора повністю або більш ніж наполовину збігаються, то електрична мережа виступає як джерело електричної енергії змінного струму, а інвертор працює в режимі керованого випрямляча, що перетворює цю енергію на енергію постійного струму [26].



а – для режиму керованого випрямляча
б – для режиму інвертора

Рисунок 2.9 – Регульовані характеристики інвертора, веденого мережею

Основними вимогами, яких необхідно дотримуватись при підключенні мережевого інвертора до живлячої мережі є:

- 1) вихід інвертора має бути синхронізований з мережею змінного струму;
- 2) амплітуда та частота вихідної напруги повинні відповідати параметрам мережі змінного струму;
- 3) інвертор повинен негайно відключитись у разі збою напруги мережі [25].

Ведені мережею інвертори застосовують:

- для плавного регулювання швидкості обертання двигунів (режим випрямляча);
- для регульованого гальмування двигунів (режим інвертора).

2.4.2 Автономні інвертори

Якщо інвертор працює на автономне навантаження, і частота обирається з умов роботи, а в деяких випадках може змінюватись, то такий інвертор називається автономним. Вони можуть перетворювати постійний струм на змінний будь-якої частоти. Комутаційними елементами, в якості вентилів, виступають силові транзистори та тиристори. Якщо в якості вентилів застосовують тиристори, то обов'язковим елементом є конденсатор. Якщо в

якості вентилів застосовують транзистори, то наявність конденсатора не є обов'язковим, схема такого інвертора відповідає схемі керованого випрямляча, який працює в зворотному режимі [26].

Типова схема найпростішого автономного інвертора та часові діаграми струмів і напруг зображено на рис. 2.10.

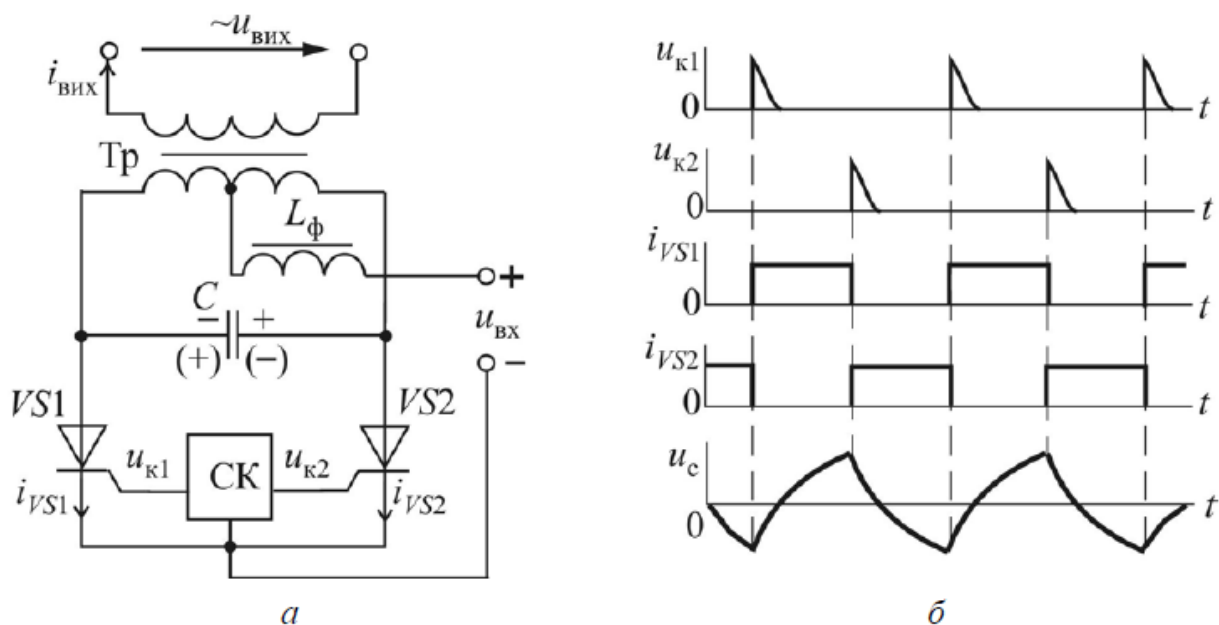


Рисунок 2.10 – Схема (а) і часові діаграми напруг і струмів (б) автономного інвертора

Зазвичай автономні інвертори застосовують:

- 1) у системах електропостачання споживачів змінного струму, коли єдиним джерелом живлення є джерело напруги постійного струму (наприклад, акумуляторна батарея);
- 2) у системах гарантованого постачання при зникненні напруги з мережі живлення (наприклад, для власних потреб електростанції – живлення пристроїв контролю, вимірювання, захисту, тощо);
- 3) для живлення технологічного устаткування, частота напруги якого відрізняється від промислової;
- 4) для частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів;

- 5) для живлення споживачів змінного струму від ліній електропостачання постійного струму;
- 6) для перетворення постійної напруги одного рівня у постійну напругу іншого рівня.

2.4.3 Інвертори струму та напруги

Залежно від специфіки електромагнітних процесів інвертори поділяють на: інвертори струму та напруги (рис. 2.11).

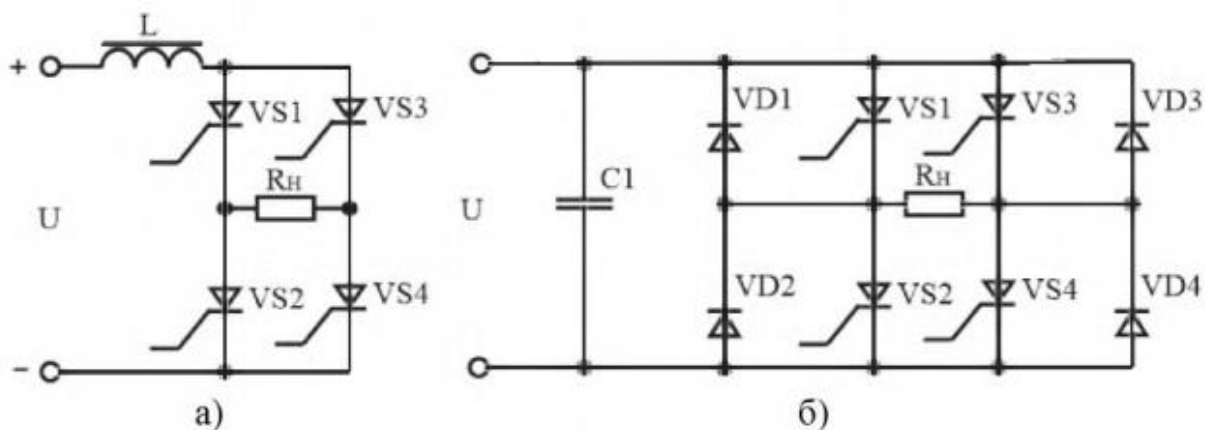


Рисунок 2.11 – Інвертори струму (а) та напруги (б)

Розглянемо інвертор струму (рис. 2.11, а), силове коло схеми завдяки дроселю L , який має великий індуктивний опір, підключається до джерела постійної напруги. Комутація тиристорів проводиться за сталого струму.

Розглянемо інвертор напруги (рис. 2.11, б), конденсатор C з великим значенням ємності підключено до джерела живлення паралельно, тому включається вплив на роботу пристрою внутрішнього опору. Комутація тиристорів проводиться за сталої напруги. Якщо навантаження інвертора напруги має індуктивний або активно-індуктивно характер, то паралельно до тиристорів вмикають зворотні діоди ($VD1$ - $VD4$), завдяки цьому забезпечується передача накопиченої в індуктивності енергії назад до джерела живлення.

Висновки до другого розділу

У другому розділі наведено характеристику основних складових комбінованої системи електропостачання та самої установки в цілому. Можна зробити висновок, що дана система може працювати з використанням енергоустановок, які працюють на ВДЕ, а також енергоустановок, які використовують традиційні джерела енергії. Представлена енергетична установка працює паралельно з зовнішньою енергосистемою. В основному режимі роботи такої системи споживач отримує електроенергію в основному від установок які працюють на ВДЕ, а при недостатці з зовнішньої мережі.

Комбінована енергосистема може працювати з використанням джерел акумулювання енергії або ж без них. Накопичувачі електроенергії, зазвичай використовують, як резервне джерело живлення, вони допомагають регулювати швидкі зміни в генерації, добові коливання, зайві гармоніки, тощо.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ З ЛОКАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ГЕНЕРУВАННЯ ТА АКУМУЛЮВАННЯ

3.1 Формування цільових функцій й обмежень задачі, методика її розв'язання

Використання в системах електропостачання локальних джерел генерування та акумулювання чи без джерел акумулювання є одним із перспективних шляхів розвитку розподільних мереж [29-33]. При цьому необхідно, щоб потужності окремих типів локальних джерел генерування й ємності акумулюючих пристроїв, які інтегровано у певну ділянку розподільної мережі було обрано оптимальним чином, що дасть можливість із максимальною ефективністю задіяти альтернативні та місцеві енергетичні ресурси. Питання полягає у визначенні граничного обсягу потужності локальних джерел генерування та акумулювання, який не створить проблеми злагодженої роботі вже сформованої інтегрованої системи. Постає задача визначення оптимального режиму роботи такої системи локальних джерел генерування й акумулювання, у якій мірі й яке джерело генерування чи енергію від мережі (централізоване електропостачання) використовувати у довільний момент часу t доби.

Для вирішення питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та мережі застосовується алгоритм розподілу ресурсів, який ґрунтується на методі нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним [34]. В описаній ситуації структура поверхні, яка відповідає функції багатьох змінних, що оптимізується, викликає певну асоціацію з яром. Цільові функції у цій задачі – багатоекстремальні. Загалом зрозуміло, що застосування локальних методів пошуку (градієнтна процедура, релаксаційна процедура) у цьому випадку призведе тільки до знаходження (визначення) локального екстремуму, в області якого була обрана початкова точка для оптимізації. На відміну від локальних методів, знаходження

глобального екстремуму у принципі забезпечується при користуванні нелокальних методів [35,36].

Екстремум – найбільше та найменше значення функції на заданій множині. Розрізняють: локальний – екстремум в деякому довільно малому околі даної точки (рис. 3.1); глобальний – екстремум в усій розглядуваній області значень функцій (рис. 3.1).

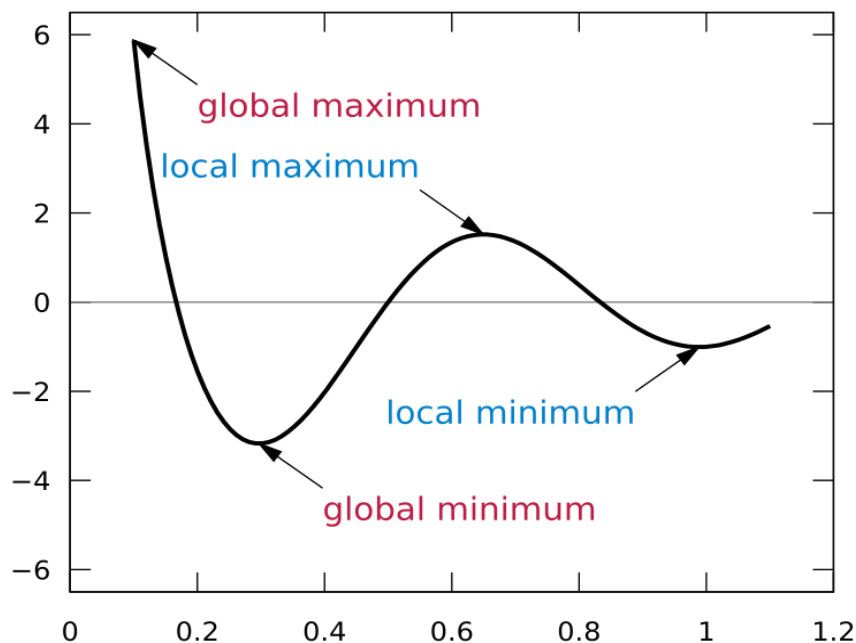


Рисунок 3.1 – Локальний і глобальний екстремуми [50]

Метод, який був запропонований І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним реалізується наступним чином [34]. З довільної точки A_1 , з використанням будь-якої процедури локального пошуку (одномірному або багатомірному пошуків) виконується ряд кроків, які пов'язано з рухом у сторону локального екстремуму (рис. 3.2).

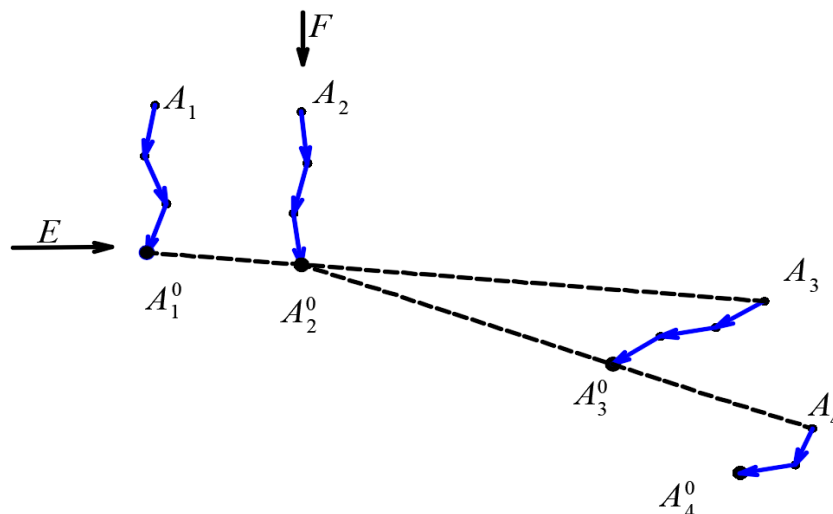


Рисунок 3.2 – Графічне представлення методу нелокального пошуку, який запропоновано І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним

Поки рух іде по спуску (схилу) так званого яру, крутизна якого виявляється достатньо великою та кожна наступна ітерація (крок) призводить до помітної зміни значення цільової функції. Однак у міру наближення до дна яру степінь зміни цільової функції зменшується. Локальний спуск продовжується до тих пір, поки відносне зменшення цільової функції не виявиться менше деякої наперед заданої величини ε . Таким чином, локальний пошук завершується у деякій точці A_1^0 на дні яру. Виконується випадковий крок у напрямі відмінному від напрямку локального пошуку. При цьому величина кроку має суттєво перевищувати крок локального пошуку. Отримуємо точку A_2 . З заданої точки знову виконуємо локальний спуск, у процесі якого знаходиться точка A_2^0 , яка, як і точка A_1^0 лежить на дні яру. Здійснюємо тепер великий крок вздовж прямої, яка з'єднує точки A_1^0 та A_2^0 , у сторону з меншим значенням цільової функції. Отримана при цьому точка A_3 обирається у якості початкової для реалізації чергової процедури локального спуску.

Перемежуючи, таким чином повільне локальне переміщення (рис. 3.3) зі швидким нелокальним переміщенням (рис. 3.4), метод добре відслідковує викривлення дна яру та дає можливість достатньо ефективно знайти точку глобального екстремуму.

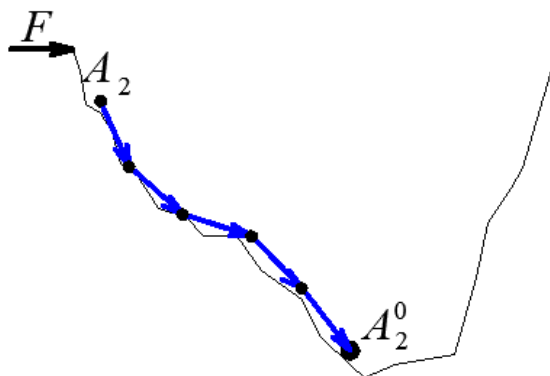


Рисунок 3.3 – Графічне представлення локального пошуку

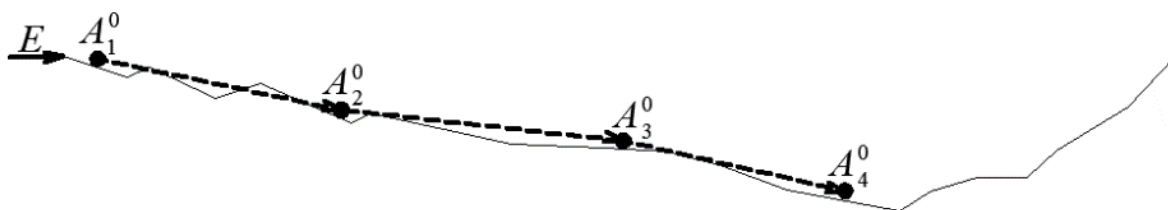


Рисунок 3.4 – Графічне представлення нелокального пошуку

У відповідності з описаним вище алгоритмом, процес оптимізації власне зводиться до послідовної реалізації процедур локального пошуку. При цьому можуть застосовуватися як ідеї (ідеології) багатомірного, так і одновимірного пошуків. Окрім цього, при побудові вказаних процедур необхідно врахувати також обмеження, у разі їх наявності.

Розглянемо ділянку розподільної мережі, що містить n джерел РГ, із вихідними потужностями й одне джерело централізованого постачання. Джерела енергії мають змогу генерувати електричну потужність P_{it} та у разі потреби накопичувати та віддавати накопичену потужність у мережу/споживачу, $i = 1, \dots, n$, t – період часу, та працюють на окрему виділену групу споживачів (наприклад, трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ), для яких необхідно повністю задовольнити сумарне електричне навантаження (рис. 3.5).

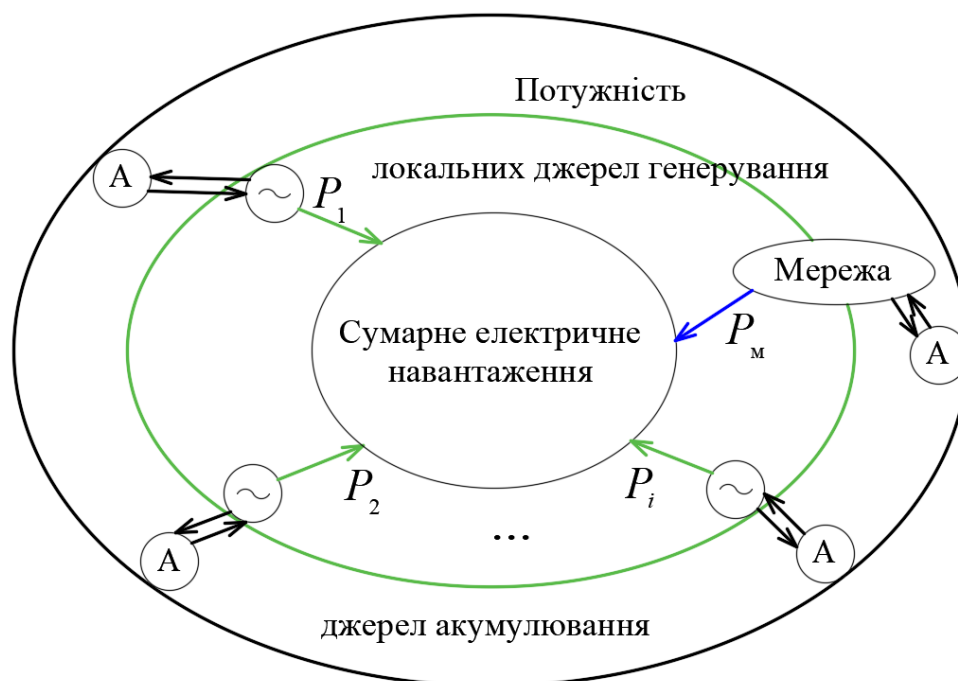


Рисунок 3.5 – Умовна схема оптимізаційної задачі

На початковому етапі розв’язання задачі необхідно обґрунтувати та сформулювати перелік цільових функцій, які на думку особи, що приймає рішення (ОПР), дають змогу забезпечити оптимальний розподіл навантаження між окремими локальними джерелами генерування й акумулювання, та відповідно їх найбільш раціональне використання у конкретний момент часу t .

ОПР – особа незалежно від організаційної приналежності (суспільство, організація, сім'я тощо), володіє ексклюзивним правом остаточного свідомого вибору рішення з множини альтернатив, а також несе повну відповідальність за такий вибір. ОПР – це особа або група осіб, наділених правом остаточного вибору одного з можливих варіантів рішення.

Передбачається, що оперативний розподіл навантажень між окремими генеруючими джерелами, здійснюється з урахуванням групи чинників різного характерів: економічного, технічного, соціального й екологічного, та інших.

При цьому, що економічна ефективність може оцінюватися за:

- експлуатаційними витратами;
- строком окупності;
- капітальними інтегральними витратами;

- коефіцієнтом використання встановленої потужності;
- тощо.

Технологічну особливість технологій генерації енергії, що плануються до використання, пропонується оцінювати за такими показниками:

- час пуску та виходу «на режим»;
- діапазон регулювання потужності;
- можливість та/або ефективність експлуатації при частковому завантаженні;
- спроможність працювати як накопичувач енергії;
- сезонність використання;
- необхідність у попередній підготовці задіяного енергоносія;
- потреба утилізації решток;
- створення енергетичної інфраструктури для використання задіяного енергоносія;
- надійність, що враховує потенційну кількість годин роботи протягом року;
- тощо.

Кожний із наведених показників технологічного характеру є нормованою величиною.

Екологічні чинники включають вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу проекту: впровадження, експлуатація, згортування (ландшафтні зміни, емісія шкідливих речовин під час експлуатації, утилізація решток, вплив емісії CO_2 , площа земельної ділянки й ін.).

Соціальні чинники, наприклад, появу додаткових робочих місць при появі локального джерела енергії, тощо.

Ризик впровадження конкретної технології є важливим для коректного визначення її перспективності. Ризик характеризується вірогідністю появи небажаних ситуацій у технічному, економічному, соціальному й екологічному аспектах. Під ступенем ризику розуміється вірогідність появи небажаних

наслідків ситуацій. Рівень ризику – це величина збитків при появі небажаних ситуацій.

У [37] було запропоновано двоетапний підхід до розв’язання завдання пошуку перспективних шляхів розвитку електроенергетичної системи, який дає можливість на першому етапі за всіма розглянутими місцями можливого розміщення електростанцій вибрати найбільш ефективні технології виробництва енергії, а на другому етапі визначити структуру генеруючих потужностей системи у цілому. Запропонований підхід дає можливість більш детально розглянути всі види генеруючого обладнання, врахувати їх конструктивні особливості, визначити тип і кількість. Це дає змогу врахувати особливості території, гнучко змінювати умови моделювання завдання у залежності від цілей дослідження, значно скоротити розмірність задачі на системному рівні.

Узагальнюючи вищезазначене, ціллю є розробка методики розподілу навантаження між генеруючими джерелами та централізованою системою електропостачання на основі модифікованого алгоритму розподілу ресурсів. При розв’язанні цієї задачі буде запропоновано механізм ефективного урахування її багатокритеріальності, невизначеності початкової інформації, можливості гнучкого завдання та зміни пріоритетності цільових функцій й обмежень, наприклад, шляхом застосування лінгвістичних характеристик.

Необхідно зазначити, що відсутні будь-які формальні підстави для вибору одного критерію при визначенні оптимального варіанту роботи схеми. Можливим шляхом визначення оптимальних режимів роботи такої схеми є переведення цієї задачі на багатокритеріальний рівень. Процедура прийняття рішення має враховувати всі фактори запропоновані ОПР, не дивлячись на те, що за своєю природою та розмірністю вони є досить різnorodними.

При цьому у процесі прийняття рішення у першу чергу враховуються економічні аспекти роботи ділянки розподільної мережі, технічні характеристики обладнання, що використовується, екологічні та соціальні наслідки його застосування.

Цільові функції, що будуть характеризувати оптимальну роботу ділянки мережі, представлено у лінгвістичній формі. Така форма представлення є зрозумілою/доступною для користувачів. Для прикладу, в якості подібних цільових функцій можна вказати на такі:

1. У першу чергу задіяти джерела генерування з мінімальним питомим значенням експлуатаційних витрат, що характеризує економічність роботи мікромережі.

2. Переважно використати джерела генерування з мінімальним значенням числа годин використання максимуму T_{\max} . Це дасть змогу, у першу чергу, задіяти джерела з обмеженими енергетичними ресурсами.

3. Переважно задіяти джерела генерування з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу.

Очевидно, що у конкретних умовах перелік цільових функцій може бути розширено. Оскільки до складу джерел електрозабезпечення входять технологічні установки як із здатністю акумулювання енергії, так і без такої можливості, то було б доцільно сформулювати ще одну цільову функцію – перевагу відати використанню джерел, що генерують енергію та не обладнані засобами акумулювання енергії.

При цьому структура кожної функції цільової функції буде мати такий вигляд

$$F_{jt}(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n a_{ji} P_{it},$$

де $j = 1, \dots, m$ – загальна кількість цільових функцій;

n – кількість джерел генерування (факторів);

t – конкретний період часу.

Природно, що в окремих цільових функціях коефіцієнт a_{ji} буде відповідно приймати питоме значення експлуатаційних витрат, значення числа годин використання максимуму $T_{\max i}$, рівень шкідливих викидів в атмосферу, тощо.

Зрозуміло, що у процесі розв'язання задачі окремі з наведених цільових функцій будуть потребувати максимізації, а інші – мінімізації.

У цьому випадку задачу математично можна сформувати таким чином. Необхідно для окремих періодів t визначити

$$F_{jt}(\mathbf{P}) \rightarrow \text{extr}_{\mathbf{P} \in L}, \quad j = 1, \dots, m, \text{ де } \mathbf{P} = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}. \quad (3.1)$$

де m – кількість цільових функцій;

за умови, що $L = \{\mathbf{P} \in R^n\}$, $L \subseteq \Omega$, де Ω – область рішень, оптимальних за Парето [38, 39].

Оптимум Парето – економічний термін, який описує такий стан системи, при якому значення кожного окремого критерію, що описує стан системи, не може бути покращено без погіршення становища інших елементів. Тобто отримане рішення за (3.1) не можна буде покращити один критерій без погіршення іншого критерію.

Зазначені вище цільові функції математично можна представити таким чином, наприклад:

– у першу чергу задіяти джерела генерування (фактори) з мінімальним питомим значенням експлуатаційних витрат

$$F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + \dots + a_{1i}P_i + \dots + a_{1n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1i}, \dots, a_{1n}$ відповідають питомому значенню експлуатаційних витрат на 1 кВт·год згенерованої електричної енергії характерному для певної технологічної установки генерації енергії та електричної енергії отриманої від централізованої системи електропостачання.

– задіяти джерела генерування (фактори) з мінімальним значенням числа годин використання максимуму T_{\max}

$$F_2(P) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + \dots + a_{2i}P_i + \dots + a_{2n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2i}, \dots, a_{2n}$ відповідають значенню числа годин використання максимуму T_{\max} , характерному для певної технологічної установки генерації енергії та системи централізованого електропостачання.

Оскільки у якості одного з можливих джерел генерування розглядається система централізованого електропостачання, то відповідний коефіцієнт для цього джерела генерування приймається рівний 8760 год.

– задіяти джерела генерування (фактори) з мінімальним рівнем шкідливих викидів у атмосферу

$$F_3(P) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + \dots + a_{3i}P_i + \dots + a_{3n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3i}, \dots, a_{3n}$ відповідають значенню шкідливих викидів в атмосферу характерному для певної технологічної установки генерації енергії та системи централізованого електропостачання.

В якості обмежень розглядаються як:

1) технічні можливості окремих джерел генерування та система централізованого електропостачання

$$P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max} , \quad (3.2)$$

де P_{it} – відповідна доля електричного навантаження, яка надається i -м джерелом РГ та системою централізованого електропостачання, у кожний період часу t ;

P_{it}^{\min} , P_{it}^{\max} – відповідні обмеження за електричною потужністю для кожного джерела РГ і системою централізованого електропостачання, яке розглядається у кожний період часу t ;

2) так і умова обов'язкового виконання балансу генерація-споживання з урахуванням за необхідності потенціалу акумулюючих пристроїв і втрат потужності для ділянки мережі, яка розглядається

$$\sum_{i=1}^n P_{it} = A_t, \quad (3.3)$$

де A_t – сумарне навантаження ділянки мережі у кожний період часу t , при відсутності потенціалу акумулюючих пристроїв і нехтуючи втратами потужності для ділянки мережі, яка розглядається.

Необхідно відмітити, що у загальному випадку параметри P_{it} та A_t формуються у процесі моделювання режимів інтегрованих СЕП, до складу якої входять джерела РГ.

Припускаємо, що за наявності у структурі ділянки мережі альтернативних джерел енергії (сонячних, вітрових електричних станцій, тощо), їх потенціал має бути задіяний у кожен момент часу у повному обсязі й у першу чергу. Тобто у першу чергу використовувати альтернативні джерела енергії, які генерують «чисту» енергію, а ніж ті, які працюють на викопному виді палива.

Також, при експлуатації джерел генерації енергії можуть виникати ситуації пов'язані з їх поточним незадовільним технічним станом, планованим технічним обслуговуванням або профілактичним ремонтом. Це у свою чергу призводить до введення відповідних додаткових цільових функцій, які потрібні для конкретних проміжків часу, та дають змогу враховувати певні обмеження на режим роботи ряду джерел. У цьому випадку коефіцієнти a_{ji} відповідної цільової функції можуть формуватися на основі оцінок, що задаються ОПР. Зокрема, можна прийняти $a_{ji} = 1$, у разі відсутності будь-яких обмежень за

навантаженням i -го джерела, $a_{ji} = 0,6 - 0,8$ при небажаності використання i -го джерела у забезпеченні навантаження споживачів у t -му режимі, $a_{ji} = 0,2 - 0,4$ – за крайньої небажаності використання i -го джерела у t -му режимі. Природно, що у даному випадку сформована таким чином цільова функція вимагатиме максимізації.

3.2 Урахування багатокритеріальності при вирішенні задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації

Вперше проблема багатокритеріальної оптимізації виникла в економічних дослідженнях. Однак надалі стало очевидним, що подібна проблема дуже часто має місце й у технічних задачах. Певним чином це стосується й електроенергетичних задач, які у переважній більшості носять комплексний характер, тому що пов'язані одночасно зі зміною втрат потужності й електричної енергії, показників надійності електропостачання й якості електричної енергії, пропускної здатності елементів електричних мереж, тощо. Оцінити всі перераховані чинники одним єдиним узагальненим критерієм є не можливим (найчастіше). У подібних ситуаціях введення додаткових критеріїв дає можливість ефективно скоротити область невизначеності одержуваних рішень, проте обумовлює складність математичних моделей, які можуть із достатнім ступенем адекватності відображати процес, що розглядається, у тому числі та його багатокритеріальний характер. У цій ситуації рішення задачі оптимізації або прийняття рішення пов'язане зі значними труднощами, причому концептуального характеру, основна з яких – обґрунтований вибір принципу оптимальності. Сформулювати єдиний принцип оптимальності для задач багатокритеріального прийняття рішень не є можливим, тому що поняття векторного оптимуму не визначено. Єдиний можливий шлях розв'язання цієї задачі пов'язаний із звуженням області Парето [38].

При розробці методів розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації, які практично всі носять евристичний характер, необхідно вирішити низку

принципових проблем [40]. По-перше, у даних задачах локальні критерії найчастіше мають різну фізичну природу й, як наслідок цього, – різні масштаби вимірювання. Це не дає можливості здійснювати безпосереднє порівняння якості одержуваних результатів за кожним критерієм. У зв'язку з цим спочатку необхідно здійснити нормалізацію локальних критеріїв, тобто привести їх розмірність до єдиного (найчастіше безрозмірного) масштабу вимірювання. По-друге, принцип оптимальності у даних задачах, по суті, має дати відповідь на питання, в якому сенсі оптимальне рішення є кращим за всі інші допустимі рішення, та, таким чином, має визначити правила пошуку цього рішення. По-третє, у результаті аналізу фізичного змісту багатьох практичних задач, з'ясовується, що різні локальні критерії мають не однакову важливість із точки зору досягнення кінцевого результату. Тому, той факт, що окремі локальні критерії мають більш високий пріоритет по відношенню до інших, необхідно враховувати при виборі принципу оптимальності та визначенні області можливих рішень, віддаючи певну перевагу тим чи іншим показникам.

Нестача ясності у понятті «оптимальне рішення» є основною методологічною складністю у рішенні багатоцільових задач. Досвід практичного застосування процедур багатокритеріального прийняття рішень при розгляді достатньо широкого кола задач [41], переконливо продемонстрував обґрунтованість й ефективність застосування для цих цільових функцій методу запропонованого Р. Беллманом і Л. Заде [42, 43]. Метод засновано на апараті теорії нечітких множин.

Перевагами методу є:

- зрозуміле та однозначне визначення критерію оптимальності, як максимального ступеня виконання (досягнення) всіх цільових функцій;
- можливість одночасного урахування як якісних і кількісних факторів, та їх диференціації за ступенем важливості;
- автоматичне отримання рішень, які належать області Парето, що гарантовано є остаточним рішенням задачі.

Застосування підходу Беллмана-Заде до прийняття рішень у нечіткому оточуючому середовищі [43-45] відповідає принципу гарантованого результату та забезпечує конструктивні лінії в отриманні гармонійних рішень. Підхід Беллмана-Заде – це ефективний (із обчислювальної точки зору) так само як і вимогливий (із точки зору отримання рішень з області Парето) метод аналізу багатокритеріальних моделей [46, 47].

У відповідності з даним підходом кожна цільова (оціночна) функція $F_j(X)$, $j=1, \dots, m$ замінюється нечіткою цільовою функцією або нечіткою множиною виду

$$A_k = [X, \mu_{A_k}(X)], \quad X \in L, \quad k = 1, \dots, m,$$

де $\mu_{A_k}(X)$ представляє собою функцію належності нечіткої функції A_k [43, 44];

L – область компромісів.

Функція належності – функція, яка ставить у відповідність кожному значенню X заданої змінною деяке число з інтервалу $[0; 1]$:

$$\mu_{A_k}(X): X \rightarrow [0; 1].$$

Це число, що називається ступеню належності, характеризує ступінь, з якою елемент X належить нечіткій множині A_k .

Нечітке рішення задачі D формується таким чином [42] $D = \bigcap_{k=1}^m A_k$, у результаті чого отримаємо функцію належності

$$\mu_D(X) = \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X), \quad X \in L. \quad (3.4)$$

Це рішення можна інтерпретувати як нечітко сформульовану інструкцію. При такому представленні лишається невизначеність яку ж альтернативу слід вибрати, тобто треба подолати цю невизначеність. Існують різні способи зняття

цієї невизначеності. Найпоширеніший із них, запропонований Л. Заде [48], полягає у виборі альтернативи, що має максимальний ступінь належності до нечіткого рішення, тобто альтернатива визначається з умови:

$$\max \mu_D(X) = \max_{X \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X). \quad (3.5)$$

Такі альтернативи називають максимізуючими.

Таким чином, точка, якій відповідає максимальне значення функцію належності, приймається у якості остаточного рішення при реалізації процесу оптимізації

$$X^0 = \arg \max_{X \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X). \quad (3.6)$$

Принциповим питанням при розв'язанні задачі прийняття рішення на підставі представленого підходу, є формування функцію належності $\mu_{A_k}(X)$. Очевидно, що, перш за все, вони мають адекватно відображати характер відповідних оціночних (цільових) функцій. Отже, необхідно, щоб у задачах, де цільова функція підлягає мінімізації, функцію належності мала великі значення при менших значеннях оціночних функцій і у точці мінімуму досягала своєї максимальної величини, рівної одиниці. Одночасно, у задачах максимізації функцію належності має приймати значення рівне одиниці при максимальному значенні оціночної функції.

Даним умовам, зокрема, відповідають функцію належності, що формуються таким чином:

- для цільових функцій, що підлягають максимізації

$$\mu_{A_k}(X) = \left[\frac{F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)}{\max_{X \in L} F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)} \right]^{\lambda_j}, \quad (3.7)$$

- для цільових функцій, що підлягають мінімізації

$$\mu_{A_k}(X) = \left[\frac{\max_{X \in L} F_j(X) - F_j(X)}{\max_{X \in L} F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)} \right]^{\lambda_j}, \quad (3.8)$$

де λ_j – показник, що відображає ступінь важливості k -ї оціночної функції та визначається, найчастіше експериментальним шляхом.

3.3 Реалізація процедури багатокритеріального розподілу навантаження між джерелами генерування енергії

Нижче продемонструємо, яким чином, представлені вище ідеї реалізуються у методі багатокритеріального розподілу навантаження між генеруючими джерелами для ділянки розподільної мережі. Зазначена задача формується у вигляді моделі (3.1) з урахуванням обмежень (3.2) та (3.3).

Подальший аналіз здійснюється на основі алгоритму багатокритеріального розподілу ресурсів [48], що включає у себе такі етапи, що виконуються для кожного заданого періоду часу t .

1. Вирішуються задачі максимізації $F_j(P) \rightarrow \max_{P \in L}$ та мінімізації $F_j(P) \rightarrow \min_{P \in L}$, $j = 1, \dots, m$ незалежно по кожній із окремих цільових функцій (3.1)

з урахуванням обмежень (3.2) і (3.3), що дає змогу визначити точки з області допустимих рішень, координати яких відповідають певному розподілу потужностей по кожному i -му джерелу РГ, у певний момент часу $P_{A_k}^- = \{P_1^-, \dots, P_i^-, \dots, P_n^-\}$, $P_{A_k}^+ = \{P_1^+, \dots, P_i^+, \dots, P_n^+\}$, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, m$.

2. Формується вектор $\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m)$, $j = 1, \dots, m$ за наявності відповідної інформації відносно важливості окремих цільових функцій (критеріїв).

3. У відповідності з виразами (3.7) та (3.8) згідно характеру цільових функцій визначаються значення функцію належності для всіх отриманих на попередньому етапі точок $P_{A_k}^- = \{P_1^-, \dots, P_i^-, \dots, P_n^-\}$, $P_{A_k}^+ = \{P_1^+, \dots, P_i^+, \dots, P_n^+\}$, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, m$.

4. Формуємо послідовність $\{P_{A_k}\}$, $k = 1, \dots, m$, із точок $P_{A_k}^-$, якщо цільова функція підлягає мінімізації, або $P_{A_k}^+$, якщо цільова функція підлягає максимізації (отриманих у результаті виконання етапу 1 цього методу). Сформована таким чином послідовність мусить володіти такою властивістю: $\min_{1 \leq k \leq m} \mu_{A_k}(P) \geq \min_{1 \leq k \leq m} \mu_{A_{k+1}}(P)$, $k = 1, \dots, m-1$ (рис. 3.6). Відповідні значення функцію належності були визначені на етапі виконання етапу 3 цього методу.

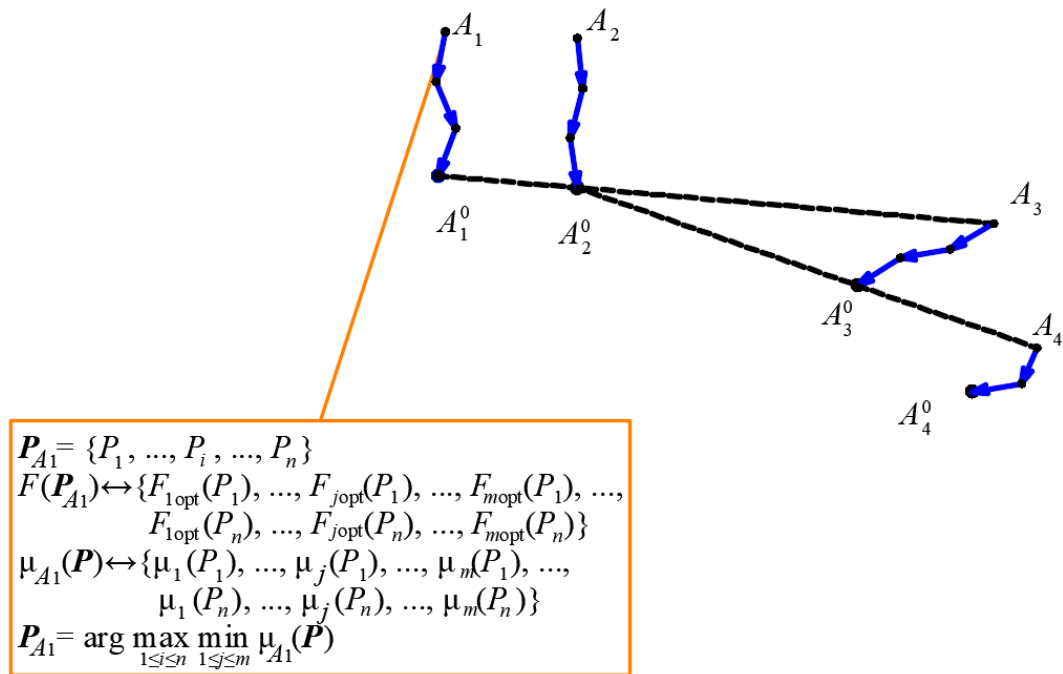


Рисунок 3.6 – Визначення початкової точки першого етапу локального пошуку

5. Початковою точкою, з якої виконують локальний пошук є точка $P_{A_k} = \{P_{1k}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{nk}\}$, $k = 1$. У запропонованому методі локальний пошук виконується з використанням алгоритму покоординатного спуску з оптимізацією координати. Відбувається покрокова попарна різноспрямована зміна координат із попередньо вибраним кроком дискретності ΔP з урахуванням обмежень (3.2) та (3.3). При цьому крок вважається успішним, якщо $\mu_{A'_k}(P) > \mu_{A_k}(P)$, $k = 1$, та не успішним за умови – $\mu_{A'_k}(P) \leq \mu_{A_k}(P)$, $k = 1$ (рис. 3.7). У процесі реалізації цього етапу розрахунків визначається точка $P_{A_k}^0 = \{P_{1k}^0, \dots, P_{ik}^0, \dots, P_{nk}^0\}$, $k = 1$ із відповідним значенням функцію належності $\mu_{A_k^0}(P)$, $k = 1$. Логічно, що рух іде по схилу яру. За його відповідної крутизни кожний крок призводить до помітної

зміни цільової функції. З мірою наближення до дна яру зміна цільової функції зменшується. Локальний спуск продовжується до тих пір, поки зміна значень функцію належності не виявиться менше деякого завчасно заданого порогу ϵ_μ .

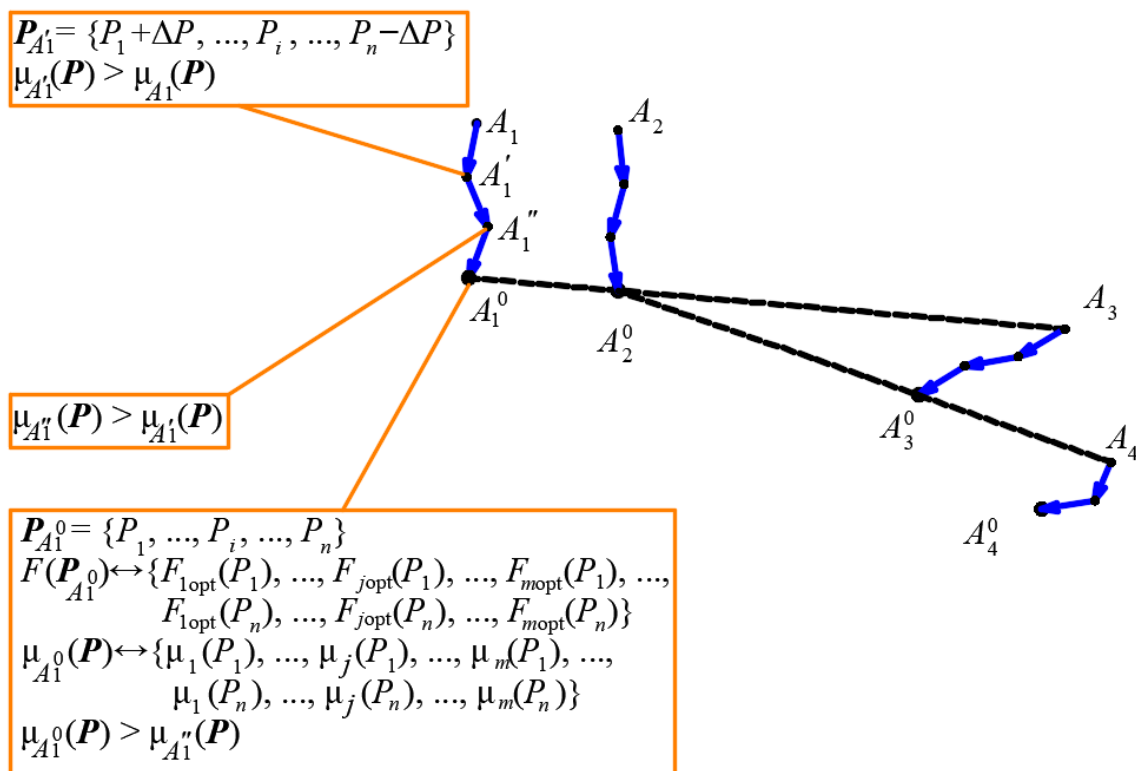


Рисунок 3.7 – Визначення кінцевої точки першого етапу локального пошуку

6. Наступний локальний пошук виконують з точки $P_{A_{k+1}} = \{P_{1k+1}, \dots, P_{ik+1}, \dots, P_{nk+1}\}$, яка вибирається з послідовності $\{P_{A_k}\}$, $k = 1, \dots, m$, із точок $P_{A_k}^-$, якщо цільова функція підлягає мінімізації, або $P_{A_k}^+$, якщо цільова функція підлягає максимізації, визначеної в етапі 4 цього методу. У результаті цього пошуку ми отримуємо точку $P_{A_{k+1}}^0 = \{P_{1k+1}^0, \dots, P_{ik+1}^0, \dots, P_{nk+1}^0\}$ з відповідною функцію належності $\mu_{A_{k+1}^0}(P)$ (рис. 3.8).

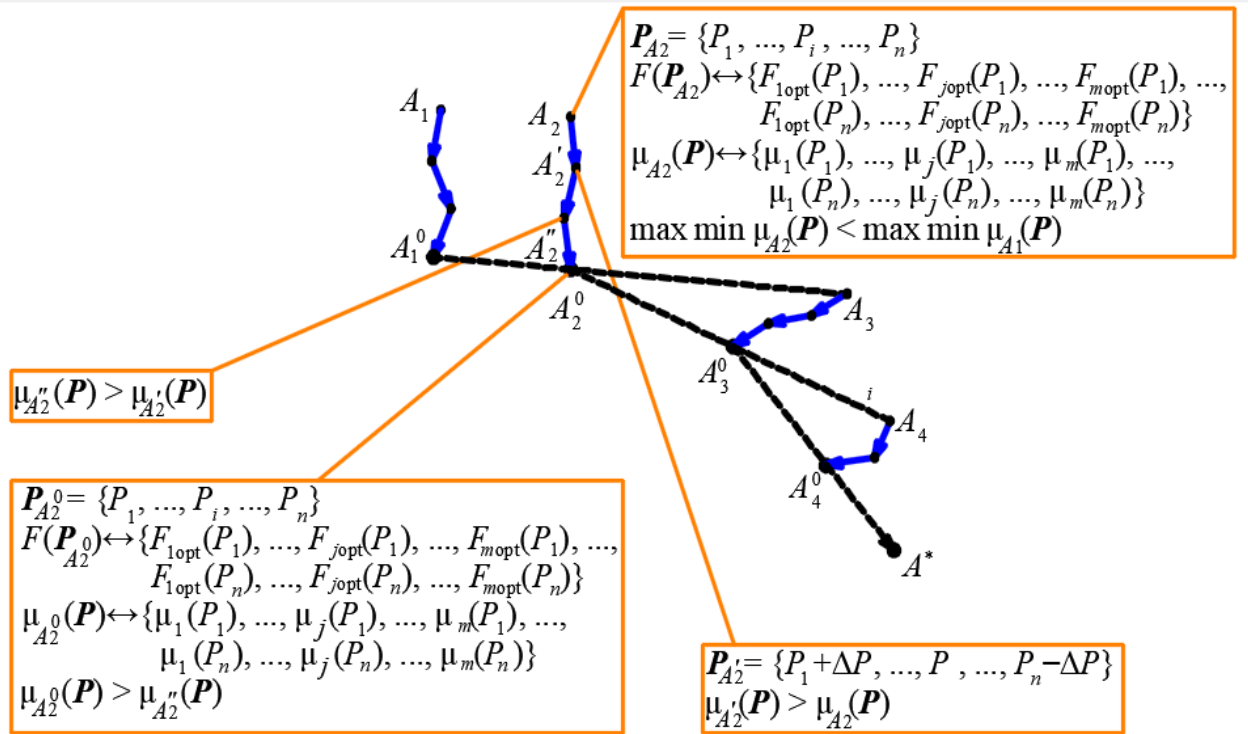


Рисунок 3.8 – Другий етап локального пошуку

7. Виконуємо такий аналіз:

якщо $P_{A_k}^0 \neq P_{A_{k+1}}^0$, $k=1$, то переходимо до етапу 8 цього методу;

якщо $P_{A_k}^0 = P_{A_{k+1}}^0$, $k=1$, для $k \neq m-1$, то повертаємося до етапу 6 методу, приймаючи $k = k+1$;

якщо $P_{A_k}^0 = P_{A_{k+1}}^0 = P_{A^*}$, $k=1$, то слідуємо до етапу 11 методу, вважаючи, що отримане рішення $P_{A_k}^0 = \{P_{1k}^0, \dots, P_{ik}^0, \dots, P_{nk}^0\}$, $k=1$, є оптимальним.

8. Проводимо лінію між точками $P_{A_k}^0$ і $P_{A_{k+1}}^0$, $k=1$, та вибираємо один із трьох подальших напрямів руху (рис. 3.9). Серед них (якщо всі вони є прийнятними з точки зору обмежень (3.2) та (3.3)), обирається точка $P_{A_{k+2}}$, що відповідає умові $P_{A_{k+2}} = \arg \max \{\min \mu_{A_{k+2}^1}(P); \min \mu_{A_{k+2}^2}(P); \min \mu_{A_{k+2}^3}(P)\}$, і яка визначає напрям для подальшої реалізації процедури пошуку.

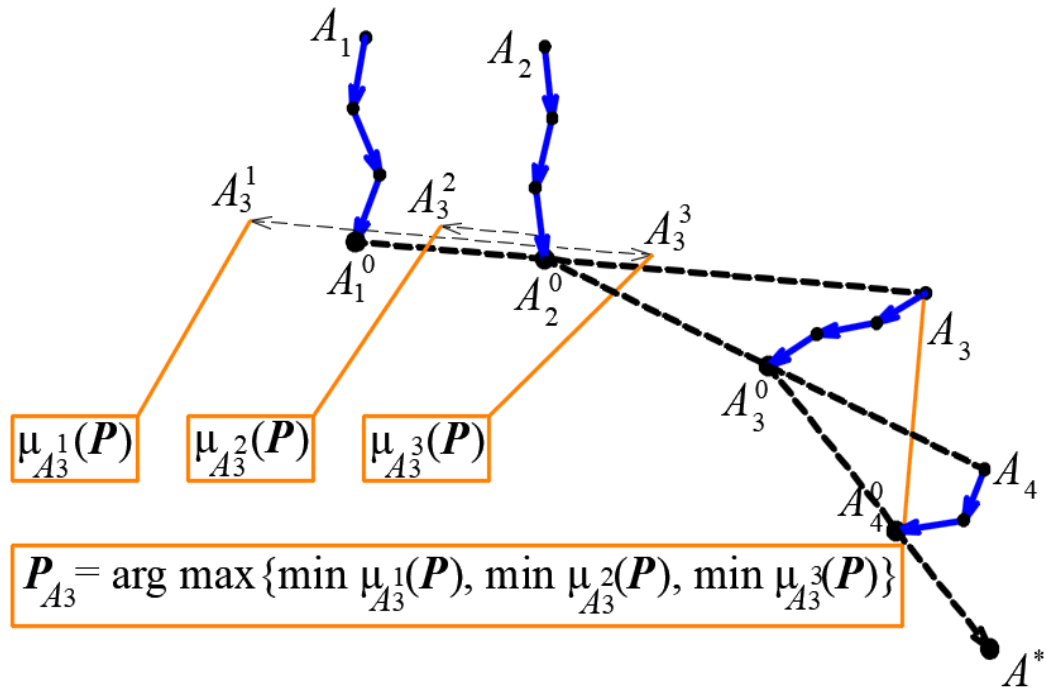


Рисунок 3.9 – Вибір подальшого напрямку оптимізації

9. Вздовж прямої, що з'єднує точки $P_{A_k^0}$ і $P_{A_{k+1}^0}$, $k=1$, у напрямі визначеному на попередньому етапі, робимо великий крок. Отримана при цьому точка $P_{A_{k+2}} = \{P_{1k+2}, \dots, P_{ik+2}, \dots, P_{nk+2}\}$ виявляється на схилу яру, та обирається у якості початкової для реалізації чергової процедури локального пошуку, у результаті виконання якої отримуємо точку $P_{A_{k+2}}^0 = \{P_{1k+2}^0, \dots, P_{ik+2}^0, \dots, P_{nk+2}^0\}$.

10. Виконуємо аналіз: якщо різниця значень характеристик трьох останніх знайдених точок $P_{A_k^0}$, $P_{A_{k+1}^0}$ та $P_{A_{k+2}^0}$, відповідно $\min \mu_{A_k^0}(P)$, $\min \mu_{A_{k+1}^0}(P)$ і $\min \mu_{A_{k+2}^0}(P)$, $k=1$, менше ніж заздалегідь задана точність розрахунків ε_Δ , то переходимо до етапу 11 методу, прийнявши $P_{A^*} = \arg \max \{\min \mu_{A_k^0}(P); \min \mu_{A_{k+1}^0}(P); \min \mu_{A_{k+2}^0}(P)\}$ (рис. 3.10); інакше переходимо до етапу 8 методу, приймаючи $k = k + 1$.

Попередньо були сформовано перелік цільових функцій, які дадуть змогу забезпечити оптимальний режим роботи окремих складових енергосистеми, врахувавши вплив зовнішніх чинників:

1. У першу чергу задіяти джерела енергії з більшими капітальними втратами;
2. Віддати перевагу використанню джерелам енергії з мінімальним значенням T_{\max} ;
3. Віддати перевагу використанню джерелам енергії з мінімальними шкідливими викидами в атмосферу;
4. Віддати перевагу використанню джерелам енергії без накопичувачів електроенергії.

В якості обмежень застосовувались значення сумарного навантаження

енергоустановки $\sum_{i=1}^n P_{it} = A_i = 500 \text{ кВт}$ та граничні значення потужності окремих

генеруючих установок: $0 \leq P_{CEC} \leq 250 \text{ кВт}$, $0 \leq P_{BEC} \leq 70 \text{ кВт}$, $0 \leq P_M \leq 450 \text{ кВт}$ та $0 \leq P_{ДГ} \leq 50 \text{ кВт}$.

Для визначення точок з області допустимих рішень вищенаведені цільові функції потребують вирішення задач максимізації та мінімізації. Математично дані цільові функції представлено наступним чином:

1. $F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + a_{13}P_3 + a_{14}P_4 \rightarrow \max$, де $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}$ відповідають питомому (на 1 кВт) значенню капітальних витрат генерованої потужності, що характерне для окремих генеруючих установок (таблиця 3.1);

2. $F_2(\mathbf{P}) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + a_{23}P_3 + a_{24}P_4 \rightarrow \min$, де $a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}$ відповідають значенню T_{\max} , характерному для окремих генеруючих установок (таблиця 3.1);

3. $F_3(\mathbf{P}) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + a_{33}P_3 + a_{34}P_4 \rightarrow \min$, де $a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}$ відповідають питомим значенням кількості шкідливих викидів у атмосферу, характерним для окремих генеруючих установок (таблиця 3.1);

4. $F_4(P) = a_{41}P_1 + a_{42}P_2 + a_{43}P_3 + a_{44}P_4 \rightarrow \min$, де $a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}$ відповідають значенням кількості накопичувачів електроенергії, які підключені до окремих генеруючих установок (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики джерел генерації споживача

	Джерела енергії	Питомі капітальні витрати, грн/кВт	T_{\max} , год	Емісія, м ³ /хв	Накопичувач електроенергії
1	Мережа	5	24	5	1
2	СЕС	8	3	0	2
3	ВЕС	6	5	0	0
4	Дизельгенератор	2	10	4	4

Розрахунок було проведено за допомогою програмного забезпечення *Microsoft Excel*.

Отже, для оптимізації роботи заданої нами системи енергопостачання (рис. 2.1) виконано розподіл навантаження, таким чином, як показано у таблиці 3.2 та на рис. 3.11.

Таблиця 3.2 – Оптимальний розподіл навантаження між компонентами комбінованої енергосистеми

Компоненти енергосистеми	Граничні значення потужності, кВт	Розподіл навантаження, кВт	Завантаження у відсотках від встановленої потужності установки
СЕС	$0 \leq P_{\text{СЕС}t} \leq 250$	177,54	71,02
ВЕС	$0 \leq P_{\text{ВЕС}t} \leq 70$	17,19	24,56
Мережа	$0 \leq P_{\text{М}t} \leq 450$	305,27	67,84
Дизельний генератор	$0 \leq P_{\text{ДГ}t} \leq 50$	0	0
Навантаження споживача		500,0	



Рисунок 3.11 – Завантаження у відсотках від встановленої потужності установки

Висновки до третього розділу

Запропоновано метод оптимального режиму роботи в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання у реальному часі, що передбачає розподіл необхідного сумарного навантаження між локальними джерелами енергії у якийсь момент часу t доби. Метод дає змогу врахувати сукупність факторів різноманітного характеру, наприклад: технічних, економічних, екологічних, соціальних, з метою забезпечення максимальної обґрунтованості й ефективності прийнятих рішень.

Цільові функції представлено у лінгвістичній формі, що є зрозумілими для користувачів. Перелік цільових функцій є відкритим і може доповнюватися іншими, які на думку ОПР дають змогу забезпечити оптимальний розподіл навантаження між локальними джерелами енергії.

Для прикладу було визначено оптимальний режим роботи енергокомплексу (рис. 2.1) при заданих цільових функції, з врахуванням обмежень, в період часу часу $t = 18$ год.

Як результат, реалізація розробленого методу розподілу навантаження між компонентами енергосистеми показує, що для задоволення потреб споживачів електричною енергією, у першу чергу за відсутності обмежень, мають застосовуватися мережа, СЕС і ВЕС (у разі наявності такої можливості). А для покриття решти навантаження джерела енергії на органічному паливі – дизель генератор.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Поняття стартапу

Стартап – це нещодавно створена компанія (можливо ще не зареєстрована офіційно), що формує свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, володіє обмеженою кількістю ресурсів (як людських так і фінансових) і планує виходити на ринок [51]. На сьогодні, класифікація стартапів відбувається за різними категоріями та критеріями відповідно до характеру ринку. Найчастіше такі проєкти розробляються в технічних галузях, а в їх основі лежать якість інноваційні рішення. За даними статистики, впровадження розроблених стартап-проєктів складає лише 10–20 % від загальної кількості.

Основними характеристиками стартапів є:

- інноваційність;
- швидкий темп розвитку;
- високий ризик банкрутства.

Для успішного розвитку стартапу необхідно, головною складовою є чітко сформована ідея, яка дасть змогу витримати конкуренцію на загальному ринку. Наступною характерною складовою є аналіз ринку, для розуміння потреб користувачів і задля подальшого залучення їх до проєкту, який розробляється.

4.2 Опис ідеї проєкту

Пропонується розробка програмного забезпечення, яке дасть змогу споживачу отримати імітацію часового графіка задля оптимального використання джерел енергії, які використовуються в енергокомплексі (енергосистемі). Тобто, даний додаток дасть змогу обирати, в яку годину яке джерело енергії вигідніше використовувати з врахуванням різноманітних критеріїв. Наприклад, у таблиці 4.1 наведено основні характеристики параметрів, які використовуватимуться в програмі.

Таблиця 4.1 – Перелік параметрів, які використовуються в додатку

Складові енергокомплексу	Критерії				Максимальна потужність
	Технічні	Економічні	Соціальні	Екологічні	
СЕС	<ul style="list-style-type: none"> – час пуску та виходу «на режим»; – діапазон регулювання потужності; – можливість та/або ефективність експлуатації при частковому завантаженні; – спроможність працювати як накопичувач енергії; – сезонність використання; – необхідність у попередній підготовці задіяного енергоносія; – потреба утилізації решток; – створення енергетичної інфраструктури для використання задіяного енергоносія; – надійність, що враховує потенційну кількість годин роботи протягом року. 	<ul style="list-style-type: none"> – експлуатаційні витрати; – строк окупності; – капітальним і інтегральні витрати; – коефіцієнт використання встановленої потужності; – тощо. 	вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу проекту: впровадження, експлуатація, згортування (ландшафтні зміни, емісія шкідливих речовин під час експлуатації, утилізація решток, вплив емісії CO ₂ , площа земельної ділянки й ін.).	появу додаткових робочих місць при появі локального джерела енергії, тощо	Обмеження задачі
ВЕС					
Дизельна установка					
Енергосистема (мережа)					
...					

Програма реалізації запропонованого методу побудована наступним чином. Спочатку визначають усі джерела енергії (компоненти енергокомплексу), які з точки зору ОПР доцільно було б використовувати для покриття потреб споживачів цього комплексу. Паралельно з цим вносяться параметри конкретної технологічної установки, на підставі її паспортних даних (технічних характеристик). До вказаних параметрів можна віднести: капітальні й експлуатаційні витрати, рівень шкідливих викидів (емісії CO_2), собівартість згенерованої електричної енергії, значення числа годин максимуму й інші, які будуть необхідні для розв'язання задачі.

Додаток буде використовувати інформацію про місце розташування споживача та аналізуючи багаторічні метеоспостереження, буде розраховано кількість сонячної енергії та вітрового потоку. Даний розрахунок буде не точним, так як значення будуть отримуватись з аналізу метеоспостережень впродовж минулих років. Використовуючи отримані дані, програма дасть можливість автоматизовано. Сервіс Google Maps надає змогу отримати інформацію, щодо параметрів (таблиця 4.1), використовуючи дані про місцезнаходження енергоустановки. Дані щодо висоти над рівнем моря можна отримати завдяки серверу srtm.csi.cgiar.org. Дані метеоспостережень можна отримати із сайту gr5.ua за останні 12 років. Приклад даних наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Дані метеоспостережень в м. Київ

Місцевий час	T	P_o	DD	Ff	N
20.10.2020 р 14:00	6,6	754,3	західний напрям	3	90%-95%
20.10.2020 р 11:00	9,4	754,0	західний напрям	4	70-80%
19.10.2020 р 20:00	6,1	751,7	південно-західний напрям	1	безхмарно
19.10.2020 р 17:00	9,0	750,5	західний напрям	1	60%

Примітка. T – температура повітря (градуси Цельсія) на висоті 2 м над поверхнею;

P_o – атмосферний тиск (мм.рт.ст) на рівні метеостанції;

DD – напрям вітру на висоті 10-12 метрів над поверхнею землі;

Ff – швидкість вітру (м/с) на висоті 10-12 метрів над поверхнею землі;

N – загальна хмарність.

Задаються обмеження для задачі, яка розглядається: сумарне навантаження енергокомплексу та можливі граничні значення потужності окремих генеруючих установок (таблиця 4.1).

Формуються цільові функції, які характеризують оптимальний режим роботи такого комплексу на думку ОПР. Також є можливість задати пріоритет (важливість) вказаних цільових функцій, віддаючи перевагу тим чи іншим цільовим функціям у процесі прийняття оптимального рішення.

Наприклад, якщо у енергокомплексі присутні комплексні джерела енергії з можливістю генерації теплової енергії, то в опалювальний період року віддати перевагу саме цим джерелам енергії, тим самим підвищуючи пріоритет (ступінь) важливості відповідної цільової функції.

Необхідно зазначити, що цільові функції й обмеження формуються виходячи з умови оптимального розподілу потужностей між джерелами генерації виключно з позицій повного забезпечення споживачів електричною енергією.

Математичні розрахунки показників прямого, розсіяного та загального випромінювання сонячної радіації, а також значення енергії вітру проводитимуться завдяки геоінформаційним системам (SAGA GIS). Структура програмного забезпечення, яке пропонується, та його взаємодія представлено на рис. 4.1.

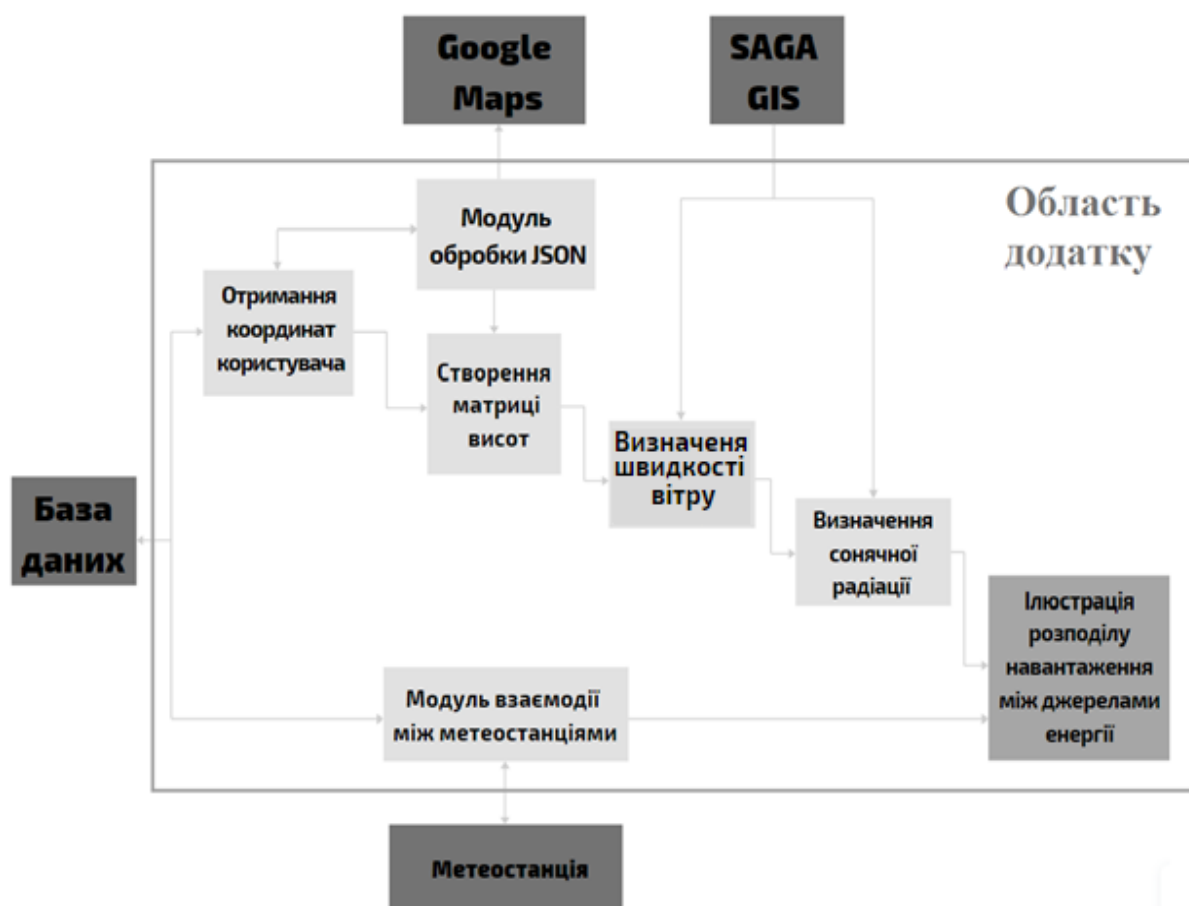


Рисунок 4.1 – Структура програмного забезпечення та його взаємодія із геоінформаційною системою та іншими джерелами інформації

Задля реалізації даного програмного забезпечення пропонується використання мови програмування *Python*, яка вважається високорівневою мовою програмування загального призначення. Також *Python* дозволяє можливість підключення сторонніх бібліотек. Додаток взаємодіє з *SAGA GIS* використовуючи стандартний інтерфейс.

Інтерфейс користувача

Головне вікно додатку (рис. 4.2) дає можливість користувачу визначити місцезнаходження (або найближчий населений пункт), для розрахунку значення сонячної радіації та швидкості вітру. Користувач вказує своє місцезнаходження використовуючи *GoogleMaps*, додаток автоматично видає значення широти та довготи, задля визначення найближчої метеостанції.

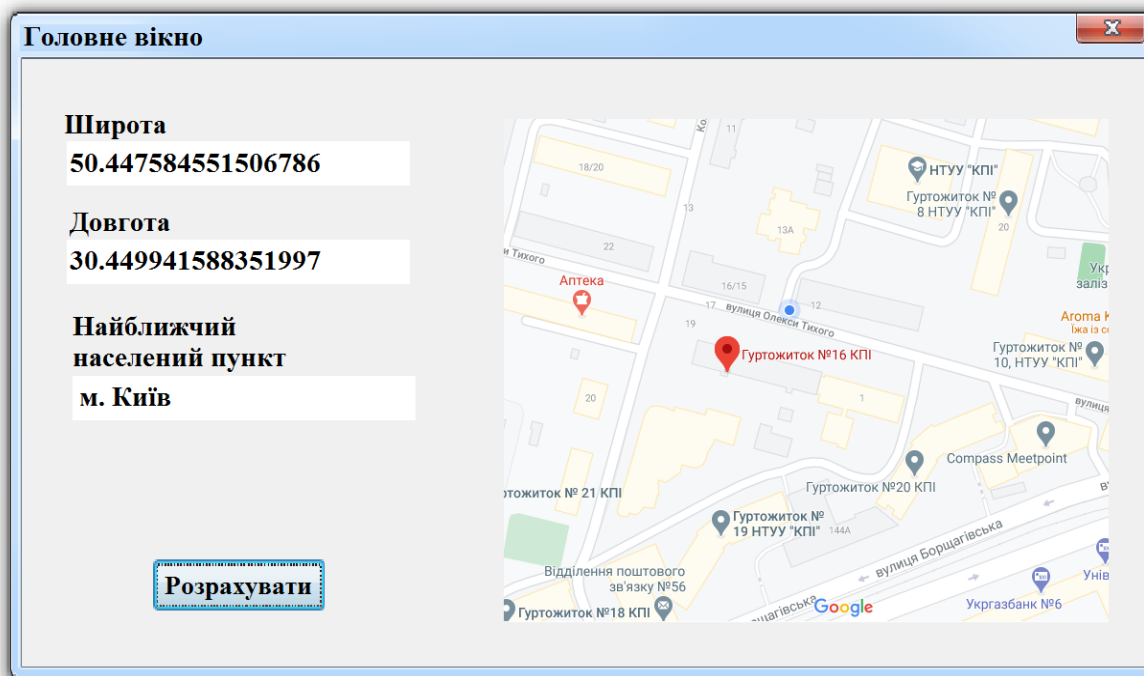


Рисунок 4.2 – Головне вікно додатку

Робота програмного забезпечення базується на використанні методу нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним, (детальний опис наведено в Розділі 3). ОПР самостійно обирає джерела генерації та критерії, відносно яких будуть проведені розрахунки (рис. 4.3).

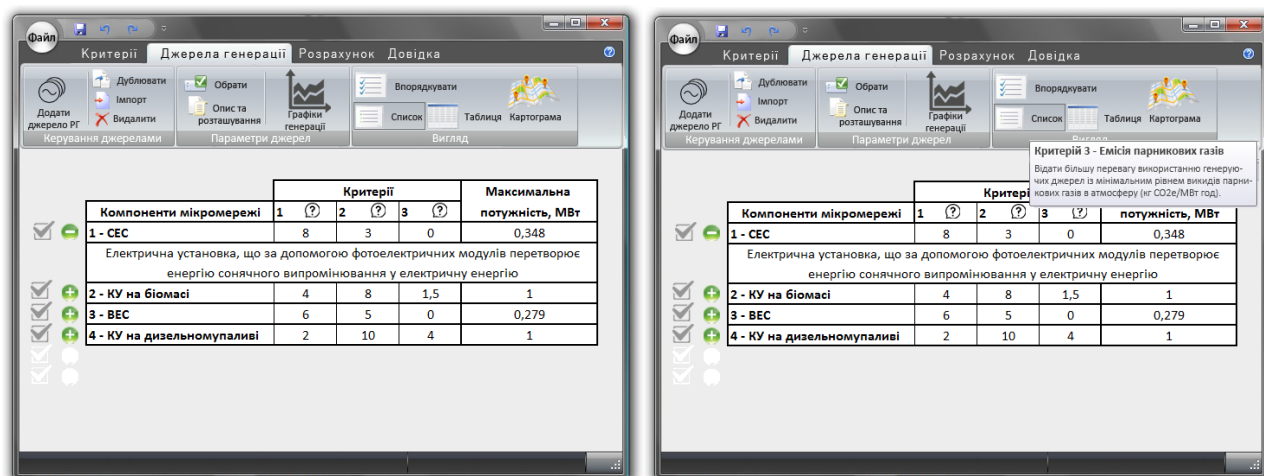


Рисунок 4.3 – Застосування методу нелокального пошуку в програмному забезпеченні

Для визначення оптимального режиму роботи використовувалися три критерії: собівартість згенерованої електричної потужності, кількість годин

роботи з максимальним навантаженням T_{\max} , рівень шкідливих викидів (емісії CO_2). Також формуються цільові функції (рис. 4.4):

- 1) у першу чергу віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами;
- 2) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним значенням T_{\max} ;
- 3) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу.

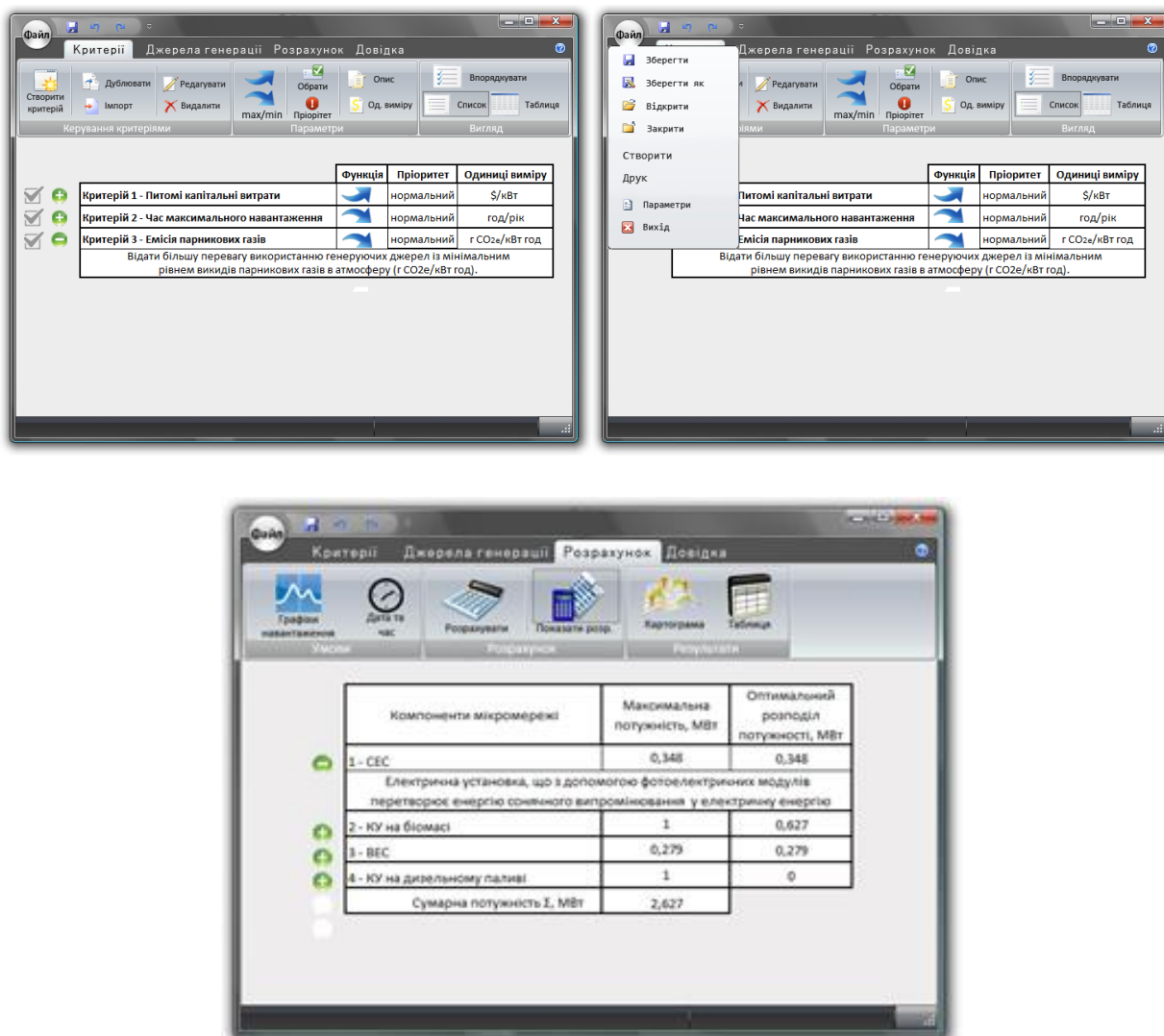


Рисунок 4.4 – Застосування методу нелокального пошуку в програмному забезпеченні

Після натиснення кнопки «Розрахувати» додаток згенерує значення кількості сонячної радіації та швидкості потоку вітру, аналізуючи дані попередніх років та дані отримані з метеостанції на поточну годину, та проведе

розрахунок щодо визначення оптимальних умови роботи кожного джерела енергії, яке використовується в енергоустановці.

4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту надає змогу оцінити сильні та слабкі сторони запропонованої ідеї. Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз складових (таблиця 4.3) [52]:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проєкту;
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити;
- чи доступні такі технології авторам проєкту.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ з/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Проектування системи	Реалізується за допомогою техніко-економічних розрахунків	Для реалізації наявні технології комп'ютерного моделювання	Технології є доступними
2	Постачання обладнання	Реалізується за допомогою аналізу наявного на ринку обладнання	Для реалізації наявна інформація технічних та цінових параметрів обладнання різних виробників	Технології є доступними
3	Доставка та монтаж обладнання	Реалізується за допомогою логістичної інфраструктури	Технології наявні	Технології є доступними

Визначимо групи потенційних клієнтів та сформуємо перелік вимог до товару або послуги (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги до товару
1	Проектування та впровадження систем генерації енергії на основі ВДЕ	Споживачі, які мають можливість використовувати енергоустановки, що працюють на ВДЕ	Сертифіковане обладнання необхідної потужності
2	Оптимізація процесів розподілу енергії	Споживачі, які використовують енергоустановки, що працюють на ВДЕ	Сертифіковане обладнання необхідної потужності

4.4 Аналіз можливостей запуску стартап-проєкту

Аналізуючи можливість запуску запропонованого стартап-проєкту використаємо *SWOT*-аналіз. Даний аналіз дозволяє визначити можливості та загрози які можуть виникнути при запровадженні продукту на зовнішній ринок. *SWOT* з англійської розшифровується як: «*Strengths*» – сильні сторони, «*Weakness*» – слабкі сторони, «*Opportunities*» – можливості, «*Threats*» – загрози. *SWOT*-аналіз запропонованого стартап-проєкту представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – *SWOT*-аналіз впровадження запропонованого проєкту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
<ul style="list-style-type: none"> – високий інтелектуальний потенціал компанії; – інноваційність технологій; – використання найкращих технологічних рішень; – можливість виходу на закордонний ринок. 	<ul style="list-style-type: none"> – недостатня обізнаність про компанію на ринку; – низький рівень фінансування; – конкуренція на ринку.

Продовження таблиці 4.5

Можливості (<i>O</i>)	Загрози (<i>T</i>)
<ul style="list-style-type: none"> – перевага над конкурентним товаром за рахунок енергоефективності, екологічної безпеки; – підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності; – подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем; – співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах. 	<ul style="list-style-type: none"> – витіснення конкурентами компанії з ринку; – відсутність інвесторів, недостатнє фінансування; – витіснення вітчизняного товару закордонним.

Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі запропоновано реалізацію проєкту програмного забезпечення, яке дасть змогу оцінити основні характеристики джерел енергії використовуючи місцезнаходження споживача. Представлено можливий алгоритм роботи додатку та ілюстрацію інтерфейсу користувача на прикладі для міста Київ. Кінцевим результатом роботи програмного забезпечення є ілюстрація діаграми оптимальних умови роботи кожного джерела енергії, які використовуються в енергокомплексі джерел енергії.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз поточного стану енергетичного сектору та сформовано перелік факторів, які впливають на енергетичний стан України. Представлено історію еволюції енергетики та наведено характеристику джерел розосередженої генерації. Було доведено, що енергетична галузь є основою соціального та економічного розвитку держави. Попит на викопні джерела енергії постійно зростає, проте їх запаси щороку зменшуються. Отриманий аналіз свідчить про те, що використання альтернативних джерел енергії дасть змогу вирішити проблему, яка пов'язана з погіршенням клімату у світі

2. Розглянуто доцільність встановлення енергетичних установок які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Прикладом слугує комбінована енергетична установка. Адже, впровадження нових технологій з використанням ВДЕ дає можливість значно зменшити проблему енергопостачання децентралізованих ділянок, зменшити витрати бюджету на поставку та закупку палива для дизельних електростанцій. Проте, головним недоліком ВДЕ є нестабільність в часі, так як їх виробіток залежить від погодних умов. У зв'язку з цим виникає необхідність комбінувати ВДЕ між собою або з генераторами на рідкому паливі. Головна ціль комбінованих (гібридних) установок максимально використовувати альтернативні джерела енергії, акумулятори, для економії палива та дизельна електростанція, яка буде потужність якої не вистачатиме для забезпечення безперебійного електропостачання.

3. Представлено вирішення питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та мережі. Для цього було використано алгоритм розподілу ресурсів, який базується на методі нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним та підходу Беллмана-Заде. Дана задача називається багатокритеріальною

(векторною), основною особливістю є наявність невизначеності, яка полягає в тому, що невідомо яким саме критеріям надати перевагу та в якій мірі. Цільові функції у цій задачі – багатоекстремальні та сформовані так, щоб забезпечити оптимальний розподіл навантаження між всіма джерелами електроенергії. Також, враховано три групи чинників: економічний (капітальні втрати, термін окупності), технологічний (сезонність використання, максимальний час використання) та екологічний (вплив емісії CO_2).

4. Запропоновано реалізацію проєкту програмного забезпечення, яке дасть змогу оцінити основні характеристики джерел енергії використовуючи місцезнаходження споживача. Представлено можливий алгоритм роботи додатку та ілюстрацію інтерфейсу користувача на прикладі для міста Київ. Кінцевим результатом роботи програмного забезпечення є ілюстрація діаграми оптимальних умови роботи кожного джерела енергії, які використовуються в енергокомплексі джерел енергії.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолук О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, видавничий дім «КИЙ», 2020. 186 с.
2. Гирусов Э. В. Энергетика человечества в глобальном измерении. *Век глобализации*. 2008. Вып. 2 (2). С. 66—76.
3. Плачкова С. Г. Энергетика: історія, сучасність і майбутнє. *Пізнання й досвід – шлях до сучасної енергетики* : електрон. наук. пізнавальне видання. 2011. URL: <http://energetika.in.ua/> (дата звернення: 15.03.2020).
4. Копішинська К. О., Широкова І. С. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України. *Економічний вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*. 2019. Вып. 16. С. 350-359. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi_2019_16_37 (дата звернення: 18.03.2020).
5. Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України. Міністерство енергетики України : офіц. веб-сайт. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/newscategory?cat_id=35081 (дата звернення 25.03.2020).
6. Цілі сталого розвитку: Україна. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: офіц. веб-сайт. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/Національна%20доповідь%20ЦСР%20України_липень%202017%20ukr.pdf (дата звернення: 18.03.2020).
7. Про схвалення стратегії поводження з радіоактивними відходами : Закон України від 19.08.2009 р. №990-р. *Урядовий кур'єр*. 2009. 9 верес. С. 14-16.
8. Державне управління у сфері поводження з радіоактивними відходами на стадії їх зберігання і захоронення. *Державне агентство України з управління зоною відчуження*: офіц. веб-сайт. URL:

<http://dazv.gov.ua/povodzhennia-z-rav/derzhavne-upravlinnya-u-sferi-povodzhennia-zradioaktivnimi-vidkhodami-na-stadiji-jikh-zberigannya-i-zakhoronennya.html>

(дата звернення: 25.03.2020).

9. Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 р. №75/94-ВР. *Законодавство України* : база даних. Верховна Рада України. Дата оновлення: 20.09.2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 25.03.2020).

10. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA). *International Renewable Energy Agency*: офіц. веб-сайт. URL: <https://www.irena.org/> (дата звернення 25.03.2020).

11. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 25.09.2008 р. №601-VI. *Законодавство України* : база даних. Верховна Рада України. Дата оновлення: 21.07.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення 25.03.2020).

12. Шидловський А.К. Енергоефективність і відновлювальні джерела енергії. Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.

13. Кудря, С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : курс лекцій. м. Київ. 2011 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/931> (дата звернення 25.03.2020).

14. Veremiichuk Y., Yarmoliuk O., Prytyskach I., Opryshko V., Mahnitko A., Lomane T., Berzina K. Energy hub functioning model considering perspectives for development of bioenergy in Ukraine. Proc. IEEE 18th International Conference on *Environment and Electrical Engineering* and 2nd *Industrial and Commercial Power Systems Europe*. Italy, Palermo, 12–15 June 2018. Pp. 1–6.

15. Вітроенергетика. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*: офіц. веб-сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy> (дата звернення 25.03.2020).

16. Renewables 2020 Global Status Report. REN21 Renewables now : офіц. веб-сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy> (дата звернення 25.03.2020).

17. Про біоенергетику. *Біоенергетична асоціація України* : офіц. веб-сайт. URL: <https://uabio.org/> (дата звернення 02.04.2020).
18. Стратегія розвитку біоенергетики в Україні. *Біоенергетична асоціація України*: <https://uabio.org/bioenergy-transition-in-ukraine/> (дата звернення 02.04.2020).
19. Про ринок електричної енергії : Закон України від 09.11.2017 р. №2198-VIII Законодавство України : база даних / Верхов. Рада України. Дата оновлення: 01.09.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
20. Встановлена потужність енергосистеми України на 10/2020. *Національна енергетична компанія УКРЕНЕРГО*: офіц. веб-сайт. URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/> (дата звернення 22.10.2020).
21. Електрична енергія з біомаси та ТЕЦ. *Біоенергетична асоціація України*: <https://uabio.org/biopower-and-chp/> (дата звернення 02.04.2020).
22. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V. Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. Proc. IEEE 6th International conference on Energy Smart Systems (ESS2019). Ukraine, Kyiv, 17–19 April 2019. No. 8764188. Pp. 283–288
23. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V. Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization. *Power and Electrical Engineering*. 2017. Vol. 34. Pp. 49–52.
24. Robert Foster. Majid Ghassemi. Alma Cota. Solar energy: *Renewable energy and Environment*. USA: CRC Press, 2009.
25. Абу Х. М. А., Меркушев Д. В. Сетевой инвертор для солнечной электростанции. *Студенческие научные исследования*. Пенза, 2020. С. 43-45.
26. Болюх В. Ф., Данько В. Г. Основи електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2011. 257 с.
27. Veremiichuk Y., Yarmoliuk O., Pustovyi A., Mahnitko A., Zicmane I., Lomane T. Features of electricity distribution using energy storage in solar

photovoltaic structure. *Latvian journal of Physics and Technical Sciences*. 2020. No. 57 (5). Pp. 18–29.

28. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O. The functioning model of integrated energy supply system with cogeneration units operation, taking into account prospects of bioenergy development in Ukraine. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 1. С. 29–40.

29. Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Яценко Л.В. Комплексное использование энергии возобновляемых источников. *Альтернативная энергетика и экология*. Київ, 2013. № 17. С. 15–22.

30. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. Москва : Машиностроение, 2004. 397 с.

31. Asai K., Sugeno M., Terano T. *Applied Fuzzy Systems*. New York : Academic Press, 1994. 302 p.

32. Mancarella P., Pudjianto D. Microgrid evolution roadmap in EU: Modelling of microgrid evolution and replacement profiles of EU network infrastructure. Final Version. Contract No: PL019864. 2009. 140 p. URL: <http://www.microgrids.eu/documents/676.pdf>. (дата звернення 04.11.2020).

33. Вернер Д., Хесс Т., Шенгер П. Локальная виртуальная электростанция. Экспериментальные исследования принципов работы микрогенерационной установки. *Промышленная энергетика*. 2014. № 8. С. 12–17.

34. Гельфанд И.М., Цетлин М.Л. О некоторых способах управления сложными системами. *Успехи математических наук*. 1962. Т. XVII, № 1 (103). С. 3–25.

35. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ. Москва, Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 468 с.

36. Popov V.A., Ekel P.Y., Farret F. Heuristic procedures and fuzzy set theory in modelling loads of electrical distribution systems. In Proceedings of the International Symposium of Artificial Intelligence. Monterray, Mexico, 1995. P. 185–192.
37. Крисанова I.M. Оптимизация развития электроэнергетических систем методами теории нечетных множеств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси», 05.13.16 «Застосування обчислювальної техніки та математичних методів у наукових дослідженнях (енергетика). Київ, 1993. 18 с.
38. Pareto V. Cours d'economie politique. Lausanne: Lausanne Rouge, 1896. 430 p.
39. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. Москва: Высшая школа, 1987. 272 с.
40. Ємельянов С.В., Борисов В.И., Малевич А.А., Черкашин А.М. Модели и методы векторной оптимизации. Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. 1973. Т. 5. С. 386–448.
41. Ekel P., Popov V., Pedrycz W. Models and methods of multicriteria decision making in a fuzzy environment and their application. Proc. of the Seventh International Fuzzy System Association World Congress. Prague, 1997. Vol. 3. Pp. 226–231.
42. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 165 с.
43. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. 1976. С. 172–215.
44. Zimmermann H.J. Fussy set theory and its application. Boston: Kluwer Academic, 1990. 400 p.
45. Pedrycz W., Gomide F. An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. Cambridge: MIT Press, 1998. 465 p.
46. Ekel P.Ya. Fussy sets and models of decisions making. Computers & Mathematics with Applications. 2002. Vol. 44 (1), Is. 7. Pp. 863–875.

47. Ekel P.Ya., Galperin E.A. Box-triangular multiobjective linear programs for recourse allocation with application to load management and energy market problems. *Mathematical and Computer Modelling*. 2003. Vol. 37 (1), Is. 1–2. Pp. 1–17.
48. Popov V.A., Ekel P.Ya., Fuchs M. Fuzzy logic in real time state estimation of distribution systems. *Methodologies for the Conception, Design, and Application of Intelligent Systems*. 1998. Vol. 2. Pp. 136–139.
49. Pedrycz W., Ekel P., Parreiras R. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods, and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 2011. 338 p.
50. Екстремум. *Вікіпедія. Вільна енциклопедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%83%D0%BC>. (дата звернення 04.11.2020).
51. Стартап. *Вікіпедія. Вільна енциклопедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Стартап> (дата звернення 24.11.2020).
52. Гавриш О. А., Бояринова К.О., Копішинська К.О. Розробка стартап-проектів : конспект лекцій. «КПІ ім. І. Сікорського». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 118 с.
53. Маляренко В. А. Енергетика і навколишнє середовище. Харків: САГА, 2008. 364 с.
54. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії. Київ, 2009. 201 с.
55. Дзядикевич Ю.В. Енергетична безпека України та її складові. *Інноваційна економіка*. 2014. № 6. С. 5-13.
56. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления. Київ: Наука, 1987. 712 с.
57. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. Київ: Освіта України, 2007. 464 с.